



2016

en direct des laboratoires de
l'Institut de physique



www.cnrs.fr

Photo de couverture : Feuille d'alliage or-tungstène 18 carats obtenue par dépôt physique en phase vapeur sur un substrat (PVD en anglais) puis retrait de ce dernier. Ces recherches sont menées par la start-up Daumet. Elle exploite un nouvel alliage d'or et de tungstène, SpinD Gold, issu des recherches de l'Unité mixte de physique CNRS/Thales. Ses qualités novatrices (couleur, brillance, densité) et écologiques pourront intéresser les acteurs de l'horlogerie, de la bijouterie, de la joaillerie et de l'orfèvrerie. © Cyril FRESILLON/Daumet/CNRS Photothèque

ÉDITO

Les recherches menées par les équipes de l'Institut de physique sont guidées à la fois par le désir de comprendre les lois fondamentales de la nature et la volonté de répondre aux enjeux actuels de notre société. Notre première mission consiste à élargir le champ des connaissances dans le domaine de la physique. Nous nous attachons à comprendre les mécanismes sous-jacents aux phénomènes observables, en élaborant des concepts, lignes de pensée et des instrumentations innovants. En matière d'innovation, nous nous attelons à promouvoir les recherches des équipes auprès des acteurs économiques et à les accompagner dans la valorisation et le transfert des innovations et technologies en rupture.

Il serait vain de vouloir résumer en quelques pages une année d'activité de l'Institut de physique, menée par près de 7000 personnes, dont 3000 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents. Plus de 5000 publications et une cinquantaine de brevets résultent en effet chaque année des recherches conduites dans nos soixante-dix laboratoires et dans la vingtaine de « labcom » que nous partageons avec des partenaires industriels.

Chacune des actualités présentées dans ce fascicule est le fruit d'un travail collectif qui commence au cœur des laboratoires : lorsque les résultats de recherches sont identifiés par leurs auteurs comme suffisamment remarquables, ceux-ci alertent la cellule communication de l'Institut de physique. Une fois le processus enclenché, celle-ci interagit avec la direction scientifique de l'institut, le service presse du CNRS, les partenaires et, bien sûr, toujours avec l'équipe de recherche impliquée. L'aboutissement de ce processus, à savoir les actualités scientifiques et « innovation », les communiqués de presse, alertes et articles, se retrouve aujourd'hui dans vos mains... ainsi que sur notre site web et les réseaux sociaux. Vous pouvez également retrouver en ligne le processus détaillé, décrit dans la brochure « de la publi au public ».

Ce fascicule est remarquable en ce sens qu'il permet de mettre en évidence le travail collectif de valorisation de la recherche menée dans nos laboratoires, dans sa richesse et sa diversité, de diffuser et partager les avancées des connaissances avec différents publics. C'est une des priorités de l'Institut de physique, dont la stratégie vise à mobiliser l'ensemble des chercheurs dans la réalisation des contenus de communication scientifique, *via* différents supports et moyens, dont les publications spécialisées, la presse, les réseaux sociaux et les événements.

Alain Schuhl
Directeur de l'Institut de physique

SOMMAIRE

5	Actualités Innovation
11	Actualités scientifiques
13	<i>Gravitation</i>
17	<i>Quantique</i>
23	<i>Piégeage mécanique</i>
29	<i>Sources</i>
35	<i>Laser - plasma</i>
39	<i>Commutation optique</i>
43	<i>Supra - bidimensionnel</i>
47	<i>Matériaux - structure</i>
51	<i>Liquides - matière molle</i>
57	Actualités Interface

ACTUALITÉS INNOVATION



Institut de physique

Actualités Innovation

CATMAG : les énergies renouvelables à portée de main

Janvier 2016

Grâce à des nanoparticules chauffées par induction magnétique, Bruno Chaudret, au Laboratoire de Physique et Chimie des Nano-Objets¹, à Toulouse, propose un procédé original pour la synthèse de méthane à partir de dioxyde de carbone.

Des bouteilles contenant différents réactifs gazeux, un réacteur en verre enchâssé dans une bobine magnétique directement relié à un chromatographe en phase gazeuse et un spectromètre de masse, le tout piloté par un ordinateur... « Désormais, nous allons pouvoir passer à la phase d'optimisation », s'enthousiasme Bruno Chaudret, porteur du projet CATMAG, lauréat du premier programme d'incitation à l'innovation du CNRS piloté par l'INP. Objectif : mettre sur la voie de l'industrialisation un nouveau procédé de catalyse à base de nanoparticules chauffées par induction magnétique, dans le but de stocker des énergies renouvelables intermittentes sous la forme de méthane synthétisé à partir de dioxyde de carbone. De façon amusante, lorsque, 25 ans plus tôt, le chimiste se lance dans l'art de façonner des nano-objets organométalliques en solution, il n'est nullement question d'applications. « L'enjeu, purement fondamental, était alors de parvenir à contrôler des réactions chimiques à une échelle jusqu'alors jamais explorée », se souvient-il.

Mais au début des années 2000, Bruno Chaudret entrevoit ainsi la possibilité de façonner des nanoparticules magnétiques pour des applications, notamment en biologie. « Placées dans un champ magnétique, ces particules ont la propriété de chauffer considérablement. Ainsi, nous pensions, par exemple, les utiliser pour tuer des cellules cancéreuses », explique le scientifique. L'astuce ? Avoir imaginé un procédé pour contourner le problème d'oxydation de la surface de ces nano-objets en les habillant d'une coquille de carbure de fer. Le succès est tel que le chercheur parvient à une formulation permettant d'obtenir une production de chaleur plus de 10 fois supérieure à l'existant. D'où finalement l'idée d'utiliser ces particules pour la catalyse de réactions chimiques sans avoir à chauffer l'ensemble du milieu réactionnel. Conséquence : une synthèse à moindre coût, mais également ultra flexible en matière d'utilisation, car une milliseconde suffit à chauffer les particules en présence d'un champ magnétique.

Deux brevets plus tard, la technologie développée par Bruno Chaudret est donc entrée en phase préindustrielle en collaboration avec la plateforme LEAF2, équipement d'excellence pour l'électronique flexible. Précisément, l'entreprise envisage, à échéance de quelques années, de commercialiser de petites installations capables de fournir du méthane à partir de l'énergie solaire, là où le gaz de ville n'est pas accessible. « On ne va pas sauver la planète, juge modestement Bruno Chaudret. Mais il n'est pas exclu que cela marche ! »

Mathieu Grousseau



Dispositif de catalyse par induction magnétique composé d'un four dans lequel est placé le catalyseur et d'une bobine à induction permettant le chauffage magnétique des nanocatalyseurs. © Cyril FRESILLON/LPCNO/CNRS Photothèque

Contact chercheur

Bruno Chaudret, directeur de recherche CNRS

Informations complémentaires

¹ Laboratoire de Physique et Chimie des Nano-Objets (LPCNO), CNRS/INSA Toulouse/UPS

² LEAF est la plateforme nationale de traitement laser pour l'électronique flexible multifonctionnelle et la réalisation d'objets en 3D, co-portée par le LAAS-CNRS (Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes) et l'IEMN (Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie), CNRS/Univ. Lille 1/UVHC/ISEN Lille.

cnrs

www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16
T 01 44 96 42 53
inp.com@cnrs.fr
www.cnrs.fr/inp



Institut de physique

Actualités Innovation

Les technologies térahertz au service de l'industrie et du secteur médical

Novembre 2016

Les ondes térahertz de faible énergie, donc sans danger pour l'homme, sont au cœur d'un nouveau système d'imagerie compact destiné au contrôle non destructif dans l'industrie et le secteur médical. Ce produit a été créé par une jeune start-up dédiée aux technologies térahertz, LYTID, initiée par Pierre Gellie, physicien formé au Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantique (MPQ, CNRS/Univ. Paris Diderot). A tout juste un an, LYTID fête ses premiers succès : premier produit vendu, une embauche et une distinction internationale.

Et la lumière fut... dans l'esprit de Pierre Gellie, alors qu'il réalise sa thèse à l'université Paris Diderot sur les « propriétés spectrales des lasers à cascade quantique térahertz » au sein du laboratoire MPQ, déjà reconnu dans ce domaine. Face au potentiel d'application de ce type d'ondes encore sous-utilisées, germe déjà l'envie de tenter l'aventure entrepreneuriale. La lumière est aussi au cœur de son objet d'étude, plus particulièrement les ondes térahertz, ou « rayons T » qui, depuis le Big-Bang, composent 98 % de la lumière de l'univers. De nature électromagnétique, ces radiations adoptent une gamme de fréquences qui se situe entre celle des micro-ondes et de l'infrarouge (soit entre 0,1 et 10 térahertz). Elles sont restées longtemps peu exploitées car, n'existant pas de manière naturelle sur Terre, elles doivent être générées à partir de sources artificielles et nécessitent des détecteurs adaptés.

Pour générer ces ondes térahertz, l'idée de Pierre Gellie a donc été de mettre au point un produit simple d'utilisation dont le cœur de la technologie est fondé sur un nouveau type de laser dit à « cascade quantique », co-inventée par le professeur Carlo Sirtori, directeur du laboratoire MPQ. Cette technologie est basée sur la structuration d'un cristal semi-conducteur, permettant ainsi de générer des photons à des longueurs d'onde jusque là inaccessibles en faisant passer un courant électrique dans le cristal. Contrairement aux dispositifs utilisés précédemment dans les laboratoires, le système ne nécessite pas l'emploi d'azote ou d'hélium liquide, un produit rare, cher et délicat à utiliser : il utilise un moteur de refroidissement issu des technologies spatiales. « On a réussi à créer un dispositif d'imagerie compact et facilement utilisable qui permet d'exploiter les propriétés singulières des ondes térahertz : de faible

énergie et non-ionisantes, elles ne sont pas nocives pour la santé et, par leur pouvoir pénétrant, permettent d'étudier la structure interne des matériaux (tissus vivants, bois, céramiques, plastiques...) sans les détruire. De plus, grâce à la forte puissance optique des ondes térahertz créées via ce dispositif, on peut acquérir des images en temps réel » explique le physicien, une petite révolution là aussi. Les applications sont potentiellement nombreuses : amélioration de l'imagerie médicale et du diagnostic de cancers, notamment en dermatologie, étude de la qualité des matériaux dans l'industrie, la recherche en biologie végétale...

Un prototype et la naissance de Lytid

Le premier prototype est développé en 2014 au laboratoire MPQ, dans le cadre d'un projet de maturation co-financé par la SATT Idf Innov et le Labex SEAM et avec le soutien de l'incubateur Agoranov. En février 2015, Pierre Gellie est rejoint par Jean-Charles Roche, ingénieur en matériaux et gestion de production et également détenteur d'un master spécialisé en entrepreneuriat, qui contribue à la conception du produit, assure la partie business development de Lytid ainsi que l'étude de marchés potentiels. L'équipe participe au concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes, le « I-Lab » du ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur et en ressort lauréate dans la catégorie « émergence ». Forts de cet élan, les deux co-fondateurs créent officiellement LYTID en juillet 2015... et ne s'arrêtent pas en si bon chemin. En février 2016, la jeune start-up reçoit une prestigieuse distinction dans la catégorie « Lasers Scientifiques », lors des « Prism Awards for Photonics Innovation » organisés à l'occasion du salon mondial Photonics West (San Francisco)¹. Son produit TeraCascade figure ainsi parmi les meilleures innovations technologiques du secteur, reconnues pour leur potentiel d'impact socio-économique. Depuis, cette source laser térahertz développée par la start-up a fait l'objet d'une première vente auprès d'un laboratoire de recherche, en juillet 2016. Grâce à cette vente, Lytid vient de recruter un premier collaborateur et va accueillir trois stagiaires en fin d'études. « Nous travaillons actuellement sur une première piste : adapter leur produit à des systèmes d'imagerie pour le contrôle non-destructif et l'imagerie médicale. Ainsi, nous collaborons avec plusieurs chercheurs dans ces domaines pour étudier le développement des applications du dispositif » précisent les deux co-fondateurs. Il faudra encore environ trois ans avant de disposer des applications... et de s'ouvrir à d'autres marchés !



TeraCascade, source d'ondes térahertz produite par Lytid, repose sur les derniers développements de la technologie « laser à cascade quantique » © Lytid

Note

¹ Lytid est lauréate d'un « Prism Awards for Photonics Innovation ». Cette compétition mondiale est organisée chaque année par SPIE (Société Internationale pour l'Optique et la Photonique) et Photonics Media (éditeur de magazines spécialisés).

Contact chercheur

Pierre Gellie, président de Lytid, T. 06 99 37 50 53

Informations complémentaires

www.lytid.com
www.univ-paris-diderot.fr

cnrs

www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16
T 01 44 96 42 53
inp.com@cnrs.fr
www.cnrs.fr/inp



Moteurs d'avion : résistance record pour un nouvel alliage

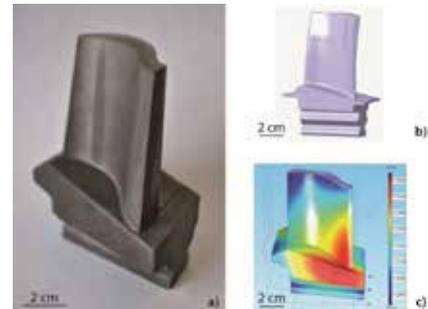
Novembre 2016

L'alliage développé par des métallurgistes du CEMES permet la réalisation de pièces complexes de moteurs d'avion offrant une résistance inégalée aux hautes températures.

Une équipe du Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales, le CEMES (Toulouse), vient de prendre une sérieuse option dans la définition de la prochaine génération de procédés permettant de réaliser des pièces complexes et résistantes à des températures élevées pour les moteurs d'avions. Leur alliage de titane et d'aluminium, avec lequel ils sont parvenus à façonner une aube de turbine de ces moteurs, offre en effet une résistance mécanique record à 800 °C.

Pour réaliser cet exploit, Alain Couret et son équipe ont dû relever deux défis. Tout d'abord, élaborer un procédé générique permettant de mouler des pièces à la géométrie alambiquée d'un seul tenant. De quoi limiter au maximum l'usinage. Leur méthode de prédilection : le *Frittage flash* qui consiste à mettre un alliage sous forme de poudre sous pression et à y appliquer un courant électrique pour le chauffer. En pratique, toute la difficulté est de réaliser un moule complexe permettant l'introduction de la poudre, puis l'application du courant et des bonnes contraintes mécaniques au bon endroit. D'un mot, « *il faut être capable de contrôler la matière en tout point et à tout moment* », résume Alain Couret. Chose faite dès 2011 avec le dépôt d'un premier brevet.

Parallèlement, les métallurgistes ont développé un nouvel alliage. L'enjeu : réaliser un matériau présentant une structure en grains lamellaires à l'échelle de quelques dizaines de microns. « *C'est la frontière entre les grains qui, en empêchant la propagation des fissures, donne sa solidité au matériau* », explique le scientifique. Mais dont les grains ne soient pas trop grands, « *sans quoi*

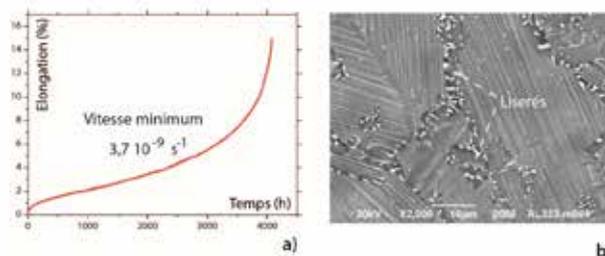


Préforme d'aube de turbine en alliage TiAl fabriquée en une seule passe par frittage flash. (a) pièce réalisée, (b) maquette numérique de l'aube correspondante et (c) modélisation thermoélectrique du procédé.

l'alliage devient mou », poursuit l'expert. Concrètement, cet alliage est à base de titane et d'aluminium, le nouvel eldorado des motoristes, car ces éléments permettent des densités deux fois moins importantes que les traditionnels alliages à base de nickel. Il incorpore également du tungstène à hauteur de 2 %. Le coup de maître des chercheurs toulousains : la détermination d'un cycle en température qui permette de déposer quasiment un à un et à la bonne place les atomes de tungstène en bordure des grains lamellaires. Résultat : un brevet déposé en 2013 et la démonstration récente de propriétés mécaniques aujourd'hui inégalées.

De quoi faire de ce procédé original le nouveau standard du domaine ? « *Nous avons démontré que la filière fonctionne, commente, prudent, Alain Couret. Il faut maintenant montrer qu'elle est viable industriellement.* » Dans ce but, un projet ANR (Agence Nationale de la Recherche) en partenariat avec Safran a récemment été déposée. Une chose est sûre : les scientifiques du CEMES sont plus que jamais dans la course !

Mathieu Grousson



Propriété et microstructure de l'alliage Ti-48W2-B0,08 densifié par SPS. (a) courbe de fluage à 700°C et 300 MPa qui montre une durée de vie de 4 000 heures. La vitesse minimale de fluage qui correspond à la pente de la courbe est de $3,7 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1}$. (b) microstructure de l'alliage observée par microscopie électronique à balayage. On remarque la présence de liserés en périphérie des grains lamellaires.

En savoir plus

[Mechanical properties of the TiAl IRIS alloy,](#)

Thomas Voisin, Jean-Philippe Monchoux, Marc Thomas, Christophe Deshayes et Alain Couret

Metalurgical and Materials Transactions A (2016) doi:10.1007/s11661-016-3801-3

Contact chercheur

Alain Couret, directeur de recherche CNRS

Informations complémentaires

Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales (CEMES)



Institut de physique

Articles parus dans la lettre *CNRS Innovation*

Nanocar Race : la première course de molécules-voitures !

PARTENARIATS & STRATEGIE - janvier 2016

Plusieurs nanocars, des molécules-voitures de la taille d'un nanomètre, vont prochainement se livrer à leur première course en parallèle sur une piste construite sur une surface en or. Une prouesse rendue possible grâce à un microscope unique au monde. [...]

Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales

EM2VM, le laboratoire commun CNRS/EDF sur le vieillissement des matériaux

PARTENARIATS & STRATEGIE - janvier 2016

EDF et deux laboratoires du CNRS, le Groupe de physique des matériaux et l'Unité matériaux et transformations, renouvèleront prochainement leur collaboration sur le vieillissement des matériaux utilisés dans les moyens de production d'électricité d'EDF, à travers le laboratoire commun EM2VM. [...]

Groupe de physique des matériaux

CATMAG : un nouveau procédé original pour le stockage des énergies

START-UP - mars 2016

Grâce à l'échauffement des nanoparticules organométalliques par induction magnétique, Bruno Chaudret, Marc Respaud et Julian Carrey du Laboratoire de physique et chimie des nano-objets¹ à Toulouse, proposent un procédé catalytique original pour la synthèse de méthane à partir de dioxyde de carbone et de dihydrogène. Une piste industrielle pour le stockage des énergies intermittentes éolienne ou photovoltaïque. [...]

Laboratoire de physique et chimie des nano-objets

DAMAE Medical grand lauréat du concours des start-up de Challenges

DISTINCTIONS - avril 2016

Le 6 avril 2016, la start-up DAMAE Medical, issue du Laboratoire Charles Fabry¹, a remporté à Paris le concours des start-up « Choose Me » du magazine Challenges. Sa co-fondatrice et présidente, Anaïs Barut, a présenté devant un jury d'investisseurs son projet de dispositif médical d'imagerie optique pour la détection immédiate et de façon non-invasive des cancers cutanés. [...]

Laboratoire Charles Fabry

NH TherAguix SAS : nanomédicaments hybrides et radiothérapies alliés face au cancer

START-UP - avril 2016

La start-up NH TherAguix, issue notamment des recherches de l'Institut lumière matière¹ et de la société Nano-H, a été créée en décembre 2015, pour ouvrir une nouvelle voie thérapeutique contre le cancer en alliant les nanomédicaments hybrides aux radiothérapies. [...]

Institut Lumière Matière

SpinD Gold, le nouvel or blanc et écoresponsable

START-UP - mai 2016

La toute jeune start-up Daumet exploite un nouvel alliage d'or et de tungstène, SpinD Gold, issu des recherches de l'Unité mixte de physique CNRS/Thales. Ses qualités novatrices (couleur, brillance, densité) et écologiques intéresseront les acteurs de l'horlogerie, de la bijouterie, de la joaillerie et de l'orfèvrerie. [...]

Unité mixte de physique CNRS/Thalès



Alvéole : pour un contrôle sur mesure du microenvironnement cellulaire

START-UP - juillet 2016

Fondée en 2010 par trois chercheurs du CNRS et Quattrocento, un générateur d'entreprises technologiques dans le domaine des sciences de la vie, la start-up Alvéole développe des outils innovants associant imagerie cellulaire, microfluidique et nanotechnologie. Ces outils visent à améliorer le contrôle du microenvironnement et la prolifération des cellules vivantes en culture. Elle lance aujourd'hui la commercialisation à l'international de Primo, un dispositif de « photo-patterning » destiné aux biologistes souhaitant créer des motifs de protéines lors de tests cellulaires. [...]

Laboratoire Jean Perrin

Aryballe Technologies : un capteur d'odeurs électronique qui a du nez

START-UP - octobre 2016

Issue du CNRS et du CEA, la start-up Aryballe Technologies a mis au point un capteur d'odeurs portatif capable d'imiter les mécanismes de l'odorat humain. Ce nez électronique offre une solution aux personnes atteintes de troubles de l'odorat et ouvre également des applications dans les domaines de l'industrie agro-alimentaire ou de l'environnement. [...]

Institut de chimie moléculaire et des matériaux d'Orsay

Modulo : une nouvelle technologie de récupération de l'énergie ambiante pour alimenter les objets connectés

STRATEGIE - novembre 2016

Le module thermoélectrique innovant Modulo, mis au point par l'Institut Néel du CNRS, récupère l'énergie thermique ambiante présente à petite échelle dans l'environnement et la convertit en tension électrique pour alimenter les objets connectés. Modulo promet une solution durable au problème d'autonomie de ces objets. Ce projet a bénéficié d'un accompagnement par le programme de prématuration du CNRS en 2016. [...]

Institut Néel

Retrouvez toutes les actualités de la lettre CNRS Innovation sur www.cnrs.fr/lettre-innovation

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES

Gravitation

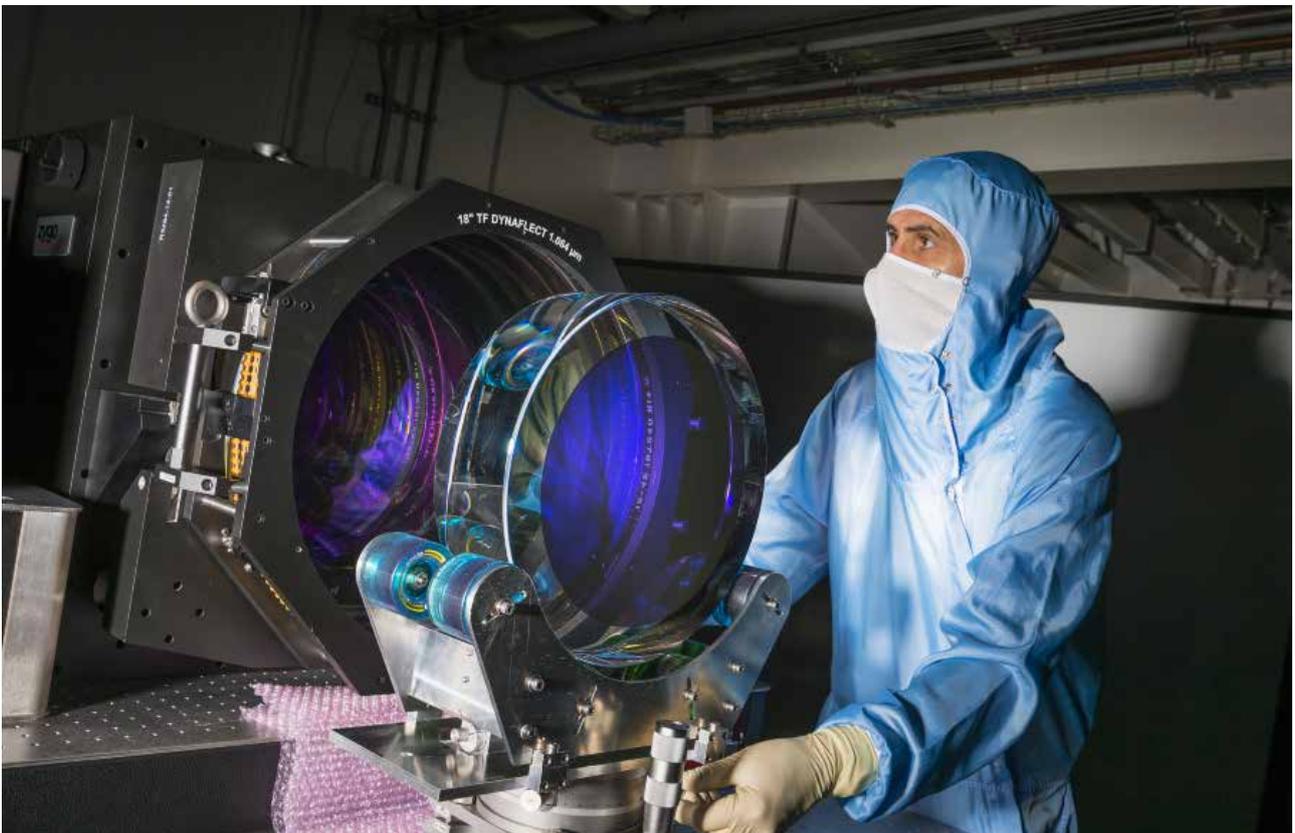


Illustration : © Cyril FRESILLON/LMA-CNRS Photobiologie



Institut de physique

Actualités scientifiques

Vers un détecteur d'ondes gravitationnelles terrestre à basse fréquence utilisant l'interférométrie atomique

Décembre 2016

L'observation des ondes gravitationnelles effectuée par les collaborations Ligo (Etats-Unis) et Virgo (Europe) ouvre l'ère d'une nouvelle astronomie dite gravitationnelle. Cette astronomie nous permettra de comprendre la formation et la physique des astres compacts comme les trous noirs ou les étoiles à neutrons. Elle nous renseignera également sur les premiers instants de l'univers inaccessibles par les observatoires optiques et, plus généralement, par la détection dans tout le spectre des ondes électromagnétiques.

Les détecteurs d'ondes gravitationnelles actuels sont optimisés pour la détection d'ondes dont la fréquence est comprise entre 10 et 1000 hertz. Le développement de l'astronomie gravitationnelle passe alors par la conception et la réalisation de détecteurs fonctionnant dans d'autres gammes de fréquences, donnant ainsi accès à l'observation de phénomènes inaccessibles à Ligo et Virgo. C'est notamment le cas du projet européen d'interféromètre spatial eLISA qui vise à observer les ondes gravitationnelles dans la gamme du millihertz. Toutefois, ce nouveau détecteur ne permettrait toujours pas d'observer les nombreuses sources astrophysiques émettant dans la gamme de fréquences intermédiaire comprise entre 100 millihertz et 10 hertz. Des physiciens d'ARTEMIS (CNRS/Univ. Côte d'Azur/Obs. de la côte d'Azur), du LNE-SYRTE (CNRS/Obs. de Paris/UPMC) et du LP2N (CNRS/IOGS/Univ. Bordeaux) viennent de proposer l'utilisation de l'interférométrie atomique pour concevoir un détecteur pouvant fonctionner dans cette gamme de fréquences. Le point clé de leur proposition consiste à réduire significativement le bruit lié

aux fluctuations aléatoires du champ de gravité terrestre, dit bruit newtonien, qui masque le signal des ondes gravitationnelles à ces fréquences. Ce bruit provient essentiellement des fluctuations de densité dans l'atmosphère causé par la turbulence, ainsi que des fluctuations de densité du sol causées par les ondes sismiques. Ce travail est publié dans la revue *Physical Review D*.

La proposition des chercheurs consiste à déployer un détecteur formé par un réseau d'interféromètres atomiques utilisant un laser d'interrogation unique. Les interféromètres forment ainsi un réseau de gradiomètres répartis le long du bras du détecteur d'onde gravitationnelle et dont le signal moyen permet de diminuer la contribution des fluctuations du champ de gravité au profit du signal d'onde gravitationnelle. Avec la configuration proposée dans leur publication, cette méthode permettrait d'observer des signaux d'ondes gravitationnelles d'une amplitude jusque dix fois inférieure aux limites imposées par le bruit Newtonien.

Cette proposition théorique s'inscrit dans le cadre plus général de l'Equipex MIGA (Matter wave laser Interferometric Gravitation Antenna). Cet Equipex représente un premier pas vers le développement d'un interféromètre atomique à grande échelle pour la détection des ondes gravitationnelles, et pour la compréhension fine de l'environnement géophysique autour de ces instruments. Collaboration entre 17 partenaires académiques et industriels répartis sur toute la France, cet équipement sera opérationnel en 2018 dans le Laboratoire souterrain à bas bruit (LSBB, CNRS/Univ. Nice Sophia Antipolis/Univ. Avignon Pays de Vaucluse) situé sur le plateau d'Albion, dans le Vaucluse. L'instrument sera organisé autour d'une chambre à vide de 300 mètres dans laquelle seront disposés trois interféromètres atomiques. Au-delà de ses nombreuses applications en géophysique, ce dispositif unique au monde pourrait extraire pour la première fois le signal de l'onde gravitationnelle du bruit newtonien, une étape essentielle pour l'observation des ondes gravitationnelles sub-Hz sur terre.

En savoir plus

[Low Frequency Gravitational Wave Detection With Ground Based Atom Interferometer Arrays,](#)

W. Chaibi, R. Geiger, B. Canuel, A. Bertoldi, A. Landragin et P. Bouyer

Physical Review D (2016) doi:10.1103/PhysRevD.93.021101

- Retrouvez l'article sur la base d'archive ouverte [arXiv](#)

Contacts chercheurs

Rémi Geiger, SYRTE

Walid Chaibi, ARTEMIS

Benjamin Canuel, LP2N

Stéphane Gaffet, LSBB

Informations complémentaires

Laboratoire Photonique, Numérique, Nanosciences (LP2N, CNRS/IOGS/Univ. Bordeaux)

Laboratoire national de métrologie et d'essais - Système de Références Temps-Espace (LNE-SYRTE, CNRS/Obs. de Paris/UPMC)

Astrophysique Relativiste, Théories, Expériences, Metrologie, Instrumentation, Signaux (ARTEMIS, CNRS/Univ. Côte d'Azur/Obs. de la côte d'Azur)

cnrs

www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie

3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16

T 01 44 96 42 53

inp.com@cnrs.fr

www.cnrs.fr/inp



Institut de physique

Alertes et communiqués de presse du CNRS

Les ondes gravitationnelles détectées 100 ans après la prédiction d'Einstein

février 2016

LIGO ouvre une nouvelle fenêtre sur l'Univers avec l'observation d'ondes gravitationnelles provenant d'une collision de deux trous noirs. Pour la première fois, des scientifiques ont observé des ondulations de l'espace-temps, appelées ondes gravitationnelles, produites par un événement cataclysmique dans l'Univers lointain atteignant la Terre après un long voyage. Cette découverte confirme une prédiction majeure de la théorie de la relativité générale énoncée par Albert Einstein en 1915 et ouvre une toute nouvelle fenêtre sur le cosmos. [...]

Laboratoire Kastler Brossel

contact chercheur : Benoît Mours, mours@lapp.in2p3.fr

Ondes gravitationnelles : et de deux !

juin 2016

Joli cadeau de Noël pour les scientifiques des collaborations LIGO et Virgo : le 26 décembre 2015, les détecteurs Advanced LIGO ont enregistré un nouveau signal d'ondes gravitationnelles, trois mois après la première détection. Cette fois encore, le signal – une infime déformation de l'espace-temps – provient de la « valse » finale de deux trous noirs qui finissent par fusionner, un phénomène appelé coalescence. Cette deuxième observation confirme que ce type d'événements cataclysmiques est relativement fréquent et augure d'autres détections à partir de fin 2016, lorsque redémarreront, après des travaux d'amélioration, les détecteurs Advanced LIGO (aux États-Unis) et Advanced Virgo (en Italie). De quoi en apprendre davantage sur les couples de trous noirs, ces astres si compacts que ni lumière, ni matière ne peuvent s'en échapper. Cette découverte, réalisée par une collaboration internationale comprenant des équipes du CNRS, est annoncée le 15 juin 2016 pendant la conférence de l'American Astronomical Society, à San Diego, et fait l'objet d'une publication dans la revue *Physical Review Letters*. [...]

Laboratoire Kastler Brossel

contact chercheur : Benoît Mours, mours@lapp.in2p3.fr

Record de précision pour la mesure de différence de rythme entre deux horloges atomiques distantes de 700 km

août 2016

Une équipe franco-allemande, dont des physiciens du laboratoire Systèmes de référence temps-espace (CNRS/Obs. de Paris/UPMC, associés au LNE) et du Laboratoire de physique des lasers (CNRS/Univ. Paris 13), viennent pour la première fois de mesurer la différence de rythme de deux horloges atomiques ultraprécises éloignées de plusieurs centaines de kilomètres, grâce à une liaison par fibre optique. Cette comparaison est 20 fois plus précise que les comparaisons actuelles d'horloges qui reposent sur le système GPS, et la mesure est 10 000 fois plus rapide à résolution égale. (...) Ces développements constituent l'un des piliers du projet de flagship européen « Quantum Technologies ». Ces travaux sont publiés le 9 août 2016 dans la revue *Nature Communications*. [...]

Laboratoire de physique des lasers contact chercheur : Christian Chardonnet, christian.chardonnet@univ-paris13.fr

Les technologies quantiques à l'épreuve de la micropesanteur

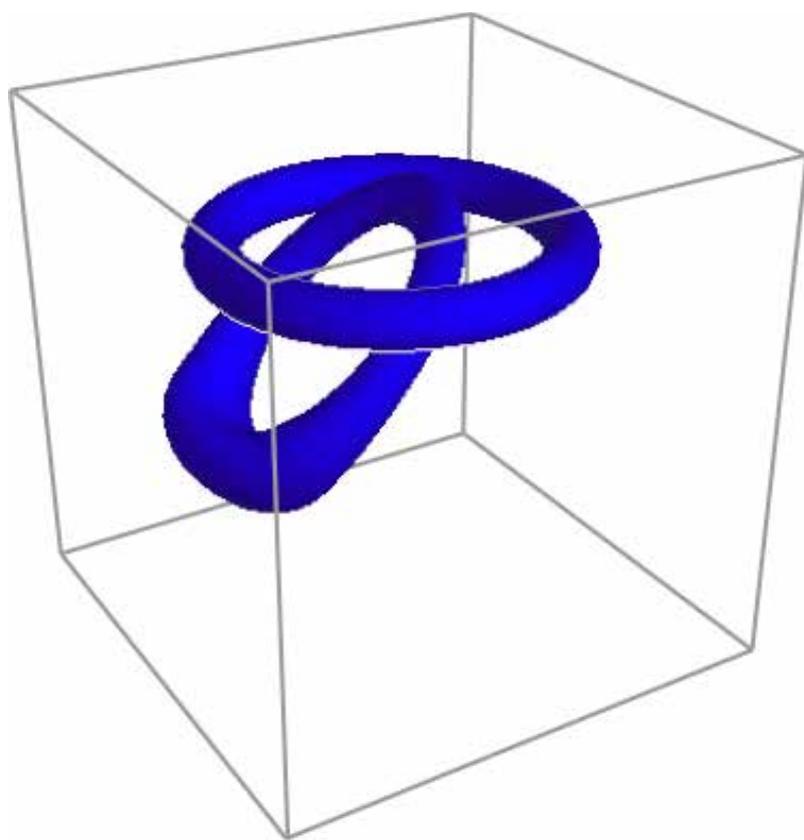
décembre 2016

Des physiciens du Laboratoire photonique numérique et nanosciences (CNRS/Univ. Bordeaux/IOGS), du laboratoire Systèmes de référence temps-espace (CNRS/Obs. de Paris/UPMC) et du CNES ont comparé pour la première fois la chute libre de deux ondes de matière en micropesanteur. (...) À bord d'un Airbus A310 zero-G, l'expérience a montré que des atomes de rubidium et de potassium en microgravité chutent à la même vitesse, malgré une différence de masse d'un facteur deux. L'objectif est de vérifier le principe d'équivalence énoncé par Einstein. Ces résultats permettent d'anticiper de futures mesures effectuées dans l'espace, où les contraintes techniques sont nombreuses mais dont la microgravité permettrait de dépasser la précision maximale actuelle qui est de 10-13. (...) Ces résultats sont publiés dans *Nature Communications* le 12 décembre 2016. [...]

Laboratoire photonique, numérique, nanosciences

contact chercheur : Philippe Boyer, philippe.boyer@institutoptique.fr

Quantique





Institut de physique

Actualités scientifiques

Faire interférer deux ondes quantiques atomiques de fréquences différentes et contrôlées

Février 2016

Des physiciens ont réussi à faire interférer deux ondes quantiques atomiques, modulées chacune à des fréquences différentes et ajustables indépendamment. Ce dispositif leur a permis de transporter pour la première fois de l'information avec comme support une onde quantique atomique : en pratique, ils ont transmis un morceau de musique et une image à un débit de 200 bits par seconde.

Faire interférer des ondes de matière de fréquence différentes n'est pas une mince affaire. Cela nécessite l'utilisation d'ondes cohérentes, corrélées en temps et en espace, ainsi que d'un dispositif permettant d'agir sur ces ondes. Jusqu'à présent, les principes physiques mis en œuvre étaient spécifiques aux particules utilisées. Pour la première fois, des physiciens du LCAR (CNRS/Univ. Toulouse 3) viennent de réaliser des interférences entre deux ondes de matière de fréquences différentes à l'aide d'un dispositif applicable à une vaste variété d'ondes de matière. En outre, contrairement aux expériences précédentes, les chercheurs ont pu mesurer et contrôler la dynamique temporelle des battements entre deux ondes. A titre démonstratif de ces capacités, ils ont transmis un morceau de musique et une image grâce aux modulations de l'onde de matière. Les chercheurs envisagent maintenant de marier cet accès à la dynamique temporelle par le biais d'interférences entre ondes de matière avec les techniques de microscopie électronique holographique. Ceci permettrait alors d'ajouter une résolution temporelle à la résolution spatiale de cette technique.



Ensemble du dispositif expérimental. © Raphaël Marcelon

Le dispositif expérimental consiste en un jet d'atomes de lithium se propageant dans le vide à une vitesse de 3600 km/h. Ce jet alimente un interféromètre atomique composé de trois ondes laser stationnaires, qui agissent sur les atomes par forces radiatives. Ces ondes lumineuses séparent, réfléchissent et recombinent deux ondes de lithium. Cet appareil sépare spatialement les deux ondes de 0.1 mm, ce qui permet d'introduire une mince feuille d'aluminium, quotidiennement utilisée dans nos cuisines : les atomes passent à la fois à gauche et à droite de cette feuille, donnant lieu à des interférences quantiques. Cette feuille agit comme une électrode commune pour appliquer deux champs électriques oscillants, agissant séparément à droite et à gauche. En choisissant des fréquences proches, les auteurs ont vu le battement d'ondes atomiques, homologue quantique des battements d'ondes acoustiques omniprésentes en musique.

Ce travail est publié dans la revue *Physical Review Letters*.



Image transmise par le « fax atomique »
© image originale : Fondation P.A. Bockstiegel

En savoir plus

Observation of atom wave beats using a Kerr modulator for atom waves, B. Décamps, J. Gillot, J. Vigué, A. Gauguier et M. Büchner, *Physical Review Letters* (2016)

Contact chercheur

Matthias Büchner, chargé de recherche CNRS

Informations complémentaires

Laboratoire Collisions, Agrégats, Réactivité (LCAR)



www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16
T 01 44 96 42 53
inp.com@cnrs.fr
www.cnrs.fr/inp



Observation de la sous-radiance de Dicke dans un nuage d'atomes froids

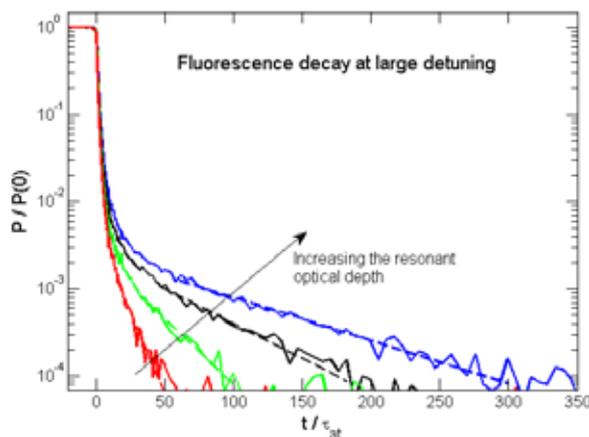
Mars 2016

Des physiciens viennent pour la première fois d'observer un ralentissement de la fluorescence d'atomes froids dû à des effets d'interférence. La caractérisation de cet effet est essentielle dans la recherche des signatures potentielles d'une localisation d'Anderson de la lumière à trois dimensions.

Après avoir été observée pour différents systèmes, types d'ondes ou dimensionnalités, la localisation d'Anderson de la lumière à trois dimensions reste encore évasive. La piste actuellement privilégiée pour cette observation consiste à observer la décroissance temporelle de la fluorescence d'un nuage d'atomes froids alors que ce dernier n'est plus excité. Outre la nécessité de réaliser des nuages d'atomes mille fois plus denses que ceux que l'on sait réaliser actuellement, il faut aussi s'assurer que le ralentissement de la décroissance de la fluorescence est bien caractéristique de l'effet attendu. Or un second effet, connu depuis les années 50, pourrait être à l'origine de ce ralentissement : la sous-radiance de Dicke. Une équipe de l'INLN (CNRS/Univ. Nice Sophia Antipolis) vient pour la première fois de mettre en évidence cet effet à trois dimensions et de le caractériser. Ce travail est publié dans la revue *Physical Review Letters*.

La sous-radiance de Dicke apparaît lorsqu'un grand nombre d'atomes identiques sont excités par une même onde lumineuse. Ces conditions d'apparition, qui favorisent les effets d'interférence entre les ondes émises par les différents atomes, sont les mêmes que pour la super-radiance, mais contrairement à ce phénomène facilement observable, la sous-radiance est extrêmement difficile à observer car elle ne concerne qu'une infime partie de la lumière émise.

Ainsi, en plus de la production d'un nuage d'atomes froids suffisamment dense et contenant un grand nombre d'atomes, la mesure de cet effet nécessite de maîtriser une difficulté expérimentale majeure : la détection d'un signal optique très faible. Dans l'expérience, les physiciens ont tout d'abord préparé un nuage d'atomes de rubidium 87 refroidis par laser contenant un milliard d'atomes, dans un volume de l'ordre du millimètre cube. L'épaisseur optique d'un tel nuage pour une lumière résonante est de 100, ce qui permet d'avoir une très forte probabilité de diffusion de la lumière par les atomes, même lorsque le désaccord avec la transition résonnante est important. Ensuite, les chercheurs ont envoyé des impulsions lasers de 30 microsecondes sur un nuage d'atomes froids dont la taille était contrôlée juste avant l'envoi des impulsions. Après la coupure de ces impulsions laser, la lumière de fluorescence a été détectée à un angle de 35° de la direction incidente du laser à l'aide de détecteurs en régime de comptage de photons. La proportion très faible de la fluorescence décroissant lentement (inférieure à 1 % de la fluorescence totale) a imposé l'utilisation de détecteurs particuliers ne présentant pas de réponse parasite, telle que des post-impulsions, qui auraient masqué la sous-radiance. Grâce à une dynamique de détection de quatre ordres de grandeur, les chercheurs ont observé une décroissance lente bien visible dans le fond du signal, jusqu'à 100 fois plus lente que pour un atome unique. En vérifiant que la durée de vie des photons dans le nuage d'atomes froids est proportionnelle à l'épaisseur optique à résonance et indépendante du désaccord du laser, les chercheurs ont ainsi montré qu'il ne s'agit pas d'un phénomène de diffusion multiple, mais bien de la sous-radiance prévue par Dicke en 1954. Ce qui est surprenant est que cette modification du taux de désexcitation des atomes intervient aussi dans un régime où les atomes sont distants de bien plus que la longueur d'onde du rayonnement émis, avec une distance interatomique moyenne de 5 microns pour une longueur d'onde d'émission de 780 nm.



Décroissance de la fluorescence en fonction du temps. Le laser excitateur est coupé à $t = 0$ et l'axe des temps est en unité de la durée de vie d'un atome unique (26 ns). Les différentes courbes correspondent à différentes épaisseurs optiques à résonance et le désaccord du laser est de cinq fois la largeur naturelle de la transition.

En savoir plus

Subradiance in a large cloud of cold atoms,

W. Guérin¹, M. O. Araujo^{1,2} et R. Kaiser¹, *Physical Review Letters* (2016)

Contact chercheur

Robin Kaiser, directeur de recherche CNRS

Informations complémentaires

¹ Institut Non Linéaire de Nice (INLN)

² CAPES Fundation, Ministry of Education of Brazil



Institut de physique

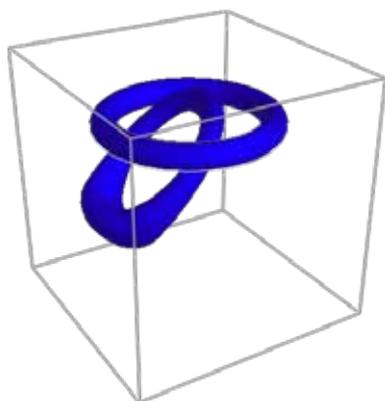
Actualités scientifiques

Des chats de Schrödinger pour mesurer le champ électrique d'un électron unique

Juillet 2016

Des physiciens viennent de réaliser un électromètre ultrasensible qui repose sur l'utilisation d'atomes excités portés dans une superposition d'états de type "chat de Schrödinger." Ces superpositions élusives, qui sont depuis plus de 80 ans au centre de nombreux débats sur les fondements de la physique quantique, commencent ainsi à être utilisées dans des dispositifs appelés à avoir des applications pratiques.

Il est aujourd'hui possible de détecter la présence d'un seul électron dans un circuit électronique miniaturisé. Cela reste toutefois un défi expérimental car le dispositif utilisé – le transistor à électron unique – doit être incorporé au circuit dès sa conception et ne fonctionne qu'à des températures de quelques fractions de Kelvin. Des physiciens du laboratoire Kastler Brossel (LKB, UPMC/ENS/CdF/CNRS) viennent de développer une nouvelle approche qui repose sur l'utilisation d'atomes très excités, dits atomes de Rydberg, placés dans une superposition quantique d'états connue sous le nom de "chat de Schrödinger". La sensibilité de ces mesures est comparable à celle des transistors à électron unique, tout en étant beaucoup moins invasive, et nécessite des températures cryogéniques beaucoup moins contraignantes. Le dispositif actuel permet de détecter en une seconde un champ électrique de 3 millivolts par mètre, soit la valeur du champ créé par un seul électron à une distance de trois quarts de millimètre. Cette méthode permet d'envisager de détecter en seulement une microseconde un électron unique à une centaine de micromètres de distance. Ce travail est publié dans la revue *Nature*.



Représentation de la fonction d'onde de l'électron dans l'état « chat de Schrödinger »
L'électron est dans une superposition de deux trajectoires très différentes, ce qui le rend extrêmement sensible aux variations de potentiel induites par les champs électriques.

Au début de chaque séquence de mesure, une impulsion laser et un champ radiofréquence appliqués à un jet d'atomes très peu dense sortant d'un four permettent de porter un atome unique dans un état de Rydberg dans lequel l'électron externe a un mouvement orbital circulaire à grande distance du cœur de l'atome. C'est alors que les chercheurs préparent leur "chat de Schrödinger" : une impulsion micro-onde et un champ radiofréquence transforment cet état électronique en une superposition quantique de deux états correspondant à une orbite circulaire horizontale et à une orbite elliptique très inclinée, très sensible au champ électrique. L'électron sonde alors le champ électrique ambiant pendant une durée qui va de quelques dizaines à quelques centaines de nanosecondes, durant lesquelles les deux états de la superposition accumulent des phases quantiques différentes. Les chercheurs recombinent enfin les deux états avec une nouvelle impulsion micro-onde. La détection finale de l'état atomique permet de mesurer la différence des phases accumulée entre les deux composantes du chat de Schrödinger et de là, à en déduire la valeur du champ électrique vu par l'atome. La durée totale du processus – environ 300 microsecondes – permet de répéter l'opération trois mille fois par seconde. En soumettant les atomes à deux champs électriques ne différant que de 60 millivolts par mètre, les chercheurs ont caractérisé la sensibilité de leur méthode et le bruit expérimental qui est une limitation majeure dans ce type de mesure. Des améliorations du dispositif expérimental devraient permettre de détecter en seulement une microseconde un électron unique à une centaine de micromètres de distance, ouvrant la voie à des applications à la nanoélectronique. Des variantes de ces chats de Schrödinger atomiques pourraient également être utilisées pour mesurer de très faibles variations de champs magnétiques.

En savoir plus

A sensitive electrometer based on a Rydberg atom in a Schrödinger cat state,
Adrien Facon, Eva-Katharina Dietsche, Dorian Grosso, Serge Haroche, Jean-Michel Raimond, Michel Brune et Sébastien Gleyzes
Nature (2016)

Contact chercheur

Sébastien Gleyzes, chercheur CNRS

Informations complémentaires

Laboratoire Kastler Brossel (LKB)

cnrs

www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16
T 01 44 96 42 53
inp.com@cnrs.fr
www.cnrs.fr/inp



Elaborer une relaxation rapide pour un micro-système

Octobre 2016

Des physiciens viennent de proposer un nouveau protocole pour changer l'état d'un système mécanique sans qu'il ne s'échauffe. Ce protocole s'avère bien plus rapide que la limite imposée par la relaxation thermique. En l'appliquant au contrôle d'une microparticule piégée par des pinces optiques, ils ont démontré une accélération d'un facteur 100.

Agir vite et attendre ou agir lentement : c'est bien souvent le seul choix de qui veut changer l'état thermodynamique d'un système sans en changer la température. L'archétype de cette situation est la compression d'un gaz : s'il est comprimé rapidement, il s'échauffe et il faut attendre pour que sa température redescende à sa valeur initiale, et si l'on souhaite qu'il ne s'échauffe pas, il faut procéder lentement (le système est en contact avec un thermostat). Des physiciens du Laboratoire de Physique (Univ. Lyon 1/ENS Lyon/CNRS), du Laboratoire de Physique Théorique et Modèles Statistiques (LPTMS, CNRS/Univ. Paris-Sud et Univ. Paris-Saclay) et du Laboratoire Collisions, Agrégats, Réactivité (LCAR, CNRS/Univ. Toulouse 3) viennent de démontrer qu'une alternative est possible. Le protocole qu'ils proposent permet d'effectuer une transformation rapide qui amène le système à la fois dans l'état thermodynamique souhaité tout en assurant une température finale égale à la température initiale. Ce résultat a été possible grâce à une collaboration étroite entre les théoriciens et les expérimentateurs des trois laboratoires, et à la qualité du système de piège optique 3D construit au Laboratoire de Physique de l'ENS Lyon. Le principe est d'effectuer une première transformation qui « dépasse » l'état souhaité, pour y revenir dans un second temps en suivant une dynamique très précise (protocole nommé ESE). In fine, les limites ultimes n'ont plus trait aux échanges thermiques, mais relèvent uniquement de la précision de la modélisation du système physique, et des capacités expérimentales de modulation rapide des paramètres de contrôle. Ce travail est publié dans la revue *Nature Physics*.

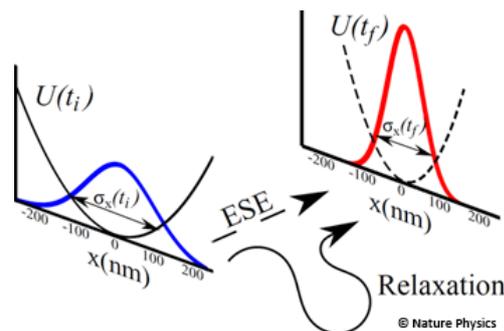
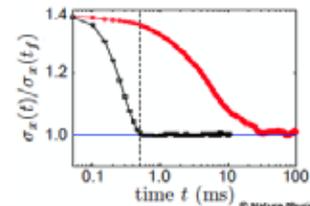


Schéma de principe du processus pour lequel le temps d'équilibration a été réduit grâce au protocole ESE. Au temps initial, la particule Brownienne est à l'équilibre. Elle est confinée par un potentiel harmonique de raideur K_i (ligne noire) et sa position a une distribution de probabilité $\rho(x)$ (histogramme bleu) avec une déviation standard $\sigma_s(t_i)$. A la fin du processus au temps t_f , la particule est à l'équilibre dans un potentiel plus confinant. La déviation standard $\sigma_s(t_f)$ de $\rho(x)$ est par conséquent plus petite que sa valeur initiale. Par la méthode ESE, on peut définir une évolution temporelle appropriée de $K(t)$, qui permet au système d'être à l'équilibre en un temps t , arbitrairement court.



Relaxation de la déviation standard $\sigma_s(t)$ (normalisée à sa valeur finale) lors d'un protocole STEP (courbe rouge) et ESE (courbe noire). La ligne bleue précise la valeur d'équilibre recherchée. La ligne verticale pointillée indique la durée du protocole ESE. Le temps d'équilibration est 100 fois plus petit pour le protocole ESE que pour le protocole STEP (noter l'échelle log de l'axe des abscisses).

Dans ce travail, les physiciens ont considéré une bille en silice de 2 microns piégée par une pince optique, c'est-à-dire un faisceau laser focalisé qui attire la particule dans la région d'intensité maximale. D'un point de vue thermodynamique, ce système peut être vu comme un gaz à une particule placée dans la boîte de taille variable que constitue le piège. En changeant l'intensité du laser, les chercheurs modifient la raideur du piège et en quelque sorte la taille de la boîte qui contient la particule. Leur objectif est alors de réduire la taille du piège sans augmenter l'énergie d'agitation thermique de la particule. En modélisant fidèlement ce système, les chercheurs ont déterminé un protocole de transformation 100 fois plus rapide que la solution consistant à réduire rapidement la taille et à attendre la thermalisation de la particule (protocole appelé STEP dans la figure ci-dessus). En pratique leur protocole consiste à augmenter transitoirement la raideur très au-delà de la valeur finale demandée, pour revenir avec la "bonne" évolution temporelle à la valeur souhaitée à la fin de la transformation. Cette idée peut s'adapter à de nombreux systèmes, par exemple le contrôle du mouvement de la pointe d'un microscope à force atomique pour de l'imagerie rapide. Elle présente aussi un fort potentiel d'application sur les micro et nano systèmes, où la réduction du temps de réponse est un objectif aussi important que la miniaturisation.

En savoir plus

Engineered swift equilibration of a Brownian particle,
I. A. Martínez, A. Petrosyan, D. Guéry-Odelin, E. Trizac et S. Ciliberto
Nature Physics (2016)

Contact chercheur

Sergio Ciliberto, directeur de recherche CNRS

Informations complémentaires

Laboratoire de physique
Laboratoire Collisions Agrégats Réactivité (LCAR)
Laboratoire de physique théorique et modèles statistiques (LPTMS)



www.cnrs.fr

Institut de Physique
CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 12
T 01 44 96 42 53
inp.com@cnrs.fr
www.cnrs.fr/inp

Piégeage mécanique

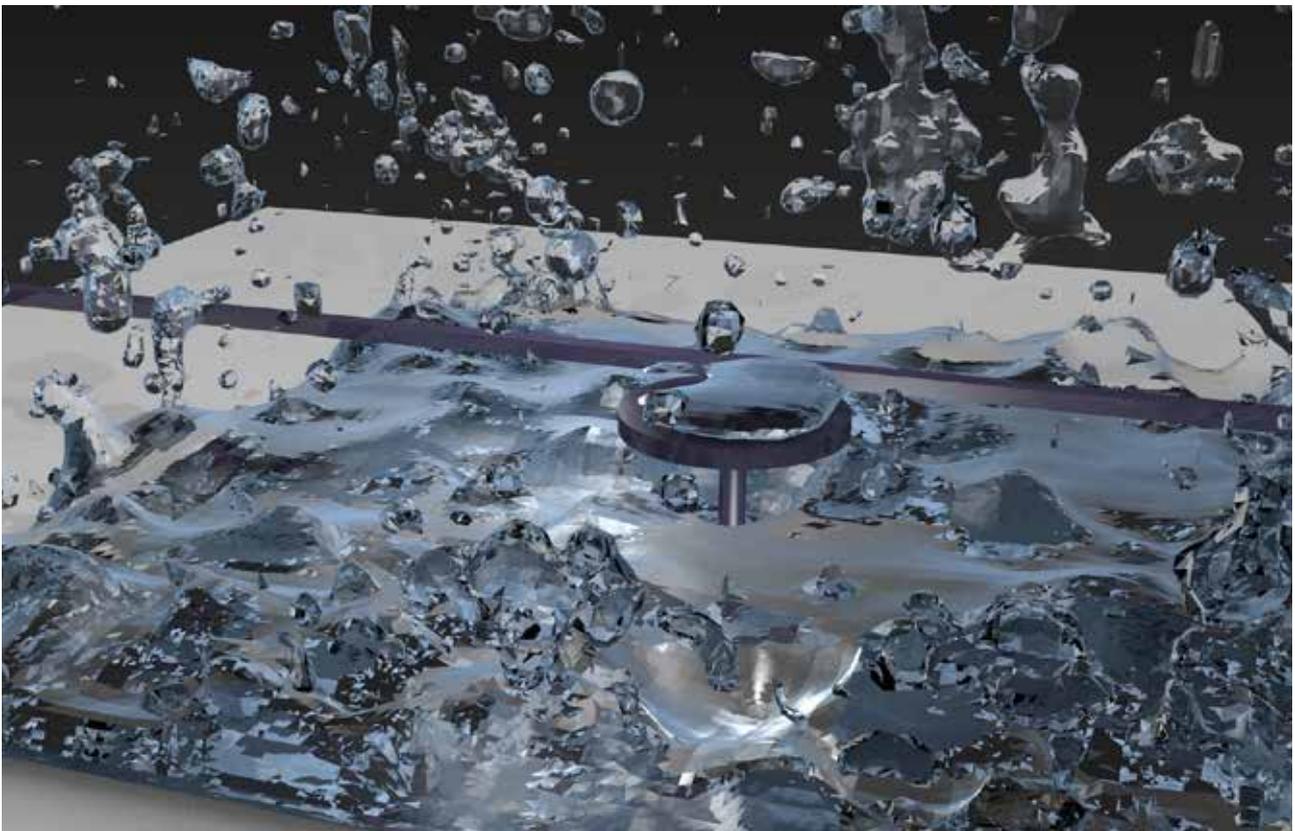


Illustration : © C. Baker et I. Favero/CNRS/Université Paris Diderot



Institut de physique

Actualités scientifiques

Mesure optomécanique d'un nanorésonateur vibrant dans un liquide

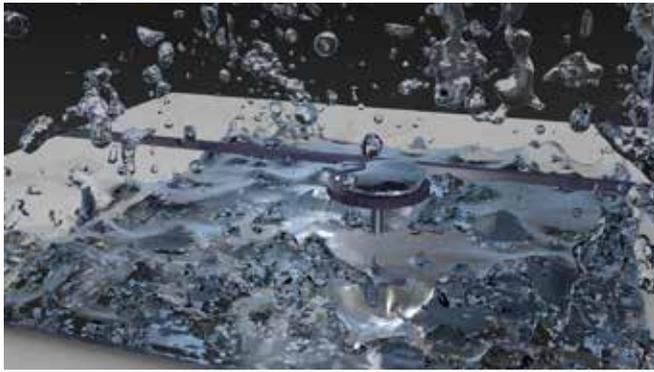
Janvier 2016

Des physiciens ont conçu le premier nanodispositif optomécanique ultrasensible fonctionnant dans un liquide. Ce dispositif leur a permis d'étudier l'interaction liquide/surface dans le régime de vibrations à très haute fréquence.

Les techniques de micro et nanofabrication permettent aujourd'hui de réaliser des capteurs mécaniques miniatures fonctionnant en milieu liquide, notamment pour des applications en biologie. La sensibilité de ces capteurs est toutefois bien inférieure à ce que permettent les systèmes hybrides combinant nano-optique et nanomécanique. Ces nouveaux systèmes ont la sensibilité suffisante pour mesurer les infimes vibrations mécaniques dues aux fluctuations quantiques. Toutefois, conçus pour fonctionner à l'air libre ou dans des cryostats, ils sont bien souvent inutilisables en milieu liquide. Des physiciens du laboratoire MPQ (Univ. Paris Diderot/CNRS) viennent de mettre au point un dispositif hybride optomécanique adapté au milieu liquide, dont la sensibilité est comparable à celle des meilleurs dispositifs fonctionnant à l'air libre. Ils l'ont utilisé pour étudier l'interaction entre un fluide et un objet vibrant dans la gamme de fréquences du gigahertz. Ce travail est publié dans la revue *Nature Nanotechnology*.

Pourquoi certains dispositifs performants à l'air libre deviennent-ils inopérants lorsqu'ils sont plongés dans un liquide ? Parce que les caractéristiques optiques d'un système dépendent de la différence d'indice optique qui existe entre

ses composants et le milieu ambiant. Cette différence est importante entre l'air et le verre, mais faible entre l'eau et le verre. En conséquence, les fibres optiques de verre guident la lumière à l'air libre mais la laissent s'échapper dans l'eau. Pour contourner cette difficulté, les chercheurs ont eu l'idée de réaliser leur dispositif dans un autre matériau que le verre, de l'arséniure de Gallium, parfaitement transparent pour la lumière infrarouge dans les longueurs d'onde micrométriques, et doté d'un indice optique très élevé ($n=3,4$), bien supérieur à ceux de l'eau ou du verre, tous deux inférieurs à 2. En utilisant les techniques de nanofabrication et de l'optique intégrée, ils ont réalisé un dispositif sur puce consistant en un nanodisque, faisant œuvre à la fois de résonateur mécanique et de résonateur optique, et un guide d'onde conduisant la lumière jusqu'au nanodisque. Ils ont alors utilisé ce dispositif dans de l'eau et dans trois liquides perfluorés. Le couplage entre la lumière circulant dans le disque et le mouvement mécanique de respiration radial de ce dernier leur a permis de mesurer des vibrations avec une résolution de $10\text{-}17\text{m}/\sqrt{\text{Hz}}$, soit un gain de plusieurs ordres de grandeur en sensibilité par rapport aux techniques généralement utilisées pour les capteurs nanomécaniques en milieu liquide. En mesurant l'amplitude de ces vibrations et le déplacement et l'élargissement des résonances mécaniques dues au couplage avec le liquide, les chercheurs ont alors pu valider expérimentalement de nouveaux modèles pour décrire l'interaction du mouvement haute fréquence du disque avec son environnement liquide. Les disques nano-optomécaniques sont ainsi capables de surpasser les technologies existantes, en sensibilité comme en bande passante, par exemple pour détecter des changements rhéologiques en milieu liquide.



Représentation artistique d'un disque nano-optomécanique en interaction avec un liquide. Le résonateur en disque est accompagné de son guide de couplage optique, suspendu linéairement dans son champ optique évanescent.

© C. Baker et I. Favero/CNRS-Université Paris Diderot

En savoir plus

[High frequency nano-optomechanical disk resonators in liquids](#), E. Gil-Santos¹, C. Baker¹, D. T. Nguyen¹, W. Hease¹, A. Lemaître², S. Ducci¹, G. Leo¹ et I. Favero¹, *Nature Nanotechnology* (2015)

- Retrouvez l'article sur la base d'archive ouverte [arXiv](#)

Contact chercheur

Ivan Favero, chargé de recherche CNRS

Informations complémentaires

¹Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques (MPQ)

²Laboratoire de Photonique et Nanostructures (LPN)



www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16
T 01 44 96 42 53
inp.com@cnrs.fr
www.cnrs.fr/inp



Institut de physique

Actualités scientifiques

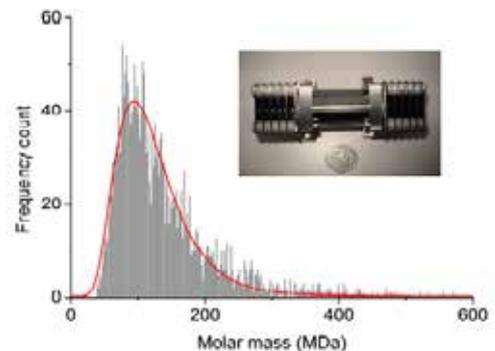
Peser une à une des fibres de protéines

Février 2016

Grâce à une nouvelle technique de spectrométrie de masse unique en Europe, des physiciens ont réussi, pour la première fois, à peser une à une des fibres amyloïdes et à déterminer ainsi le nombre de protéines qui les composent. Trop légers pour des balances et trop lourds pour les spectromètres de masse traditionnels, ces assemblages de protéines qui jouent un rôle majeur dans la maladie d'Alzheimer ou de Parkinson, échappaient jusqu'à présent à une caractérisation quantitative.

Agrégats de protéines hautement organisées, les fibres amyloïdes suscitent un grand intérêt en raison de leur implication dans les maladies neurodégénératives telles que les maladies d'Alzheimer et de Parkinson. Elles suscitent en outre un intérêt croissant du côté des nanotechnologies, en raison notamment de leurs propriétés d'auto-assemblage. Pourtant, en dépit des nombreuses recherches effectuées sur ces objets, des informations physiques de base telles que leur masse sont toujours inconnues. Des physiciens de l'ILM (CNRS/Univ. Lyon 1) en collaboration avec des biologistes du LCBM (CNRS/CEA/Univ. Grenoble Alpes) viennent pour la première fois de peser individuellement des fibres amyloïdes. Cette nouvelle technique, combinée à la microscopie par force atomique (AFM, réalisée au CEA Grenoble), ouvre la voie à une détermination quantitative de la densité des assemblées supramoléculaires de protéines, une information essentielle pour mieux comprendre la formation et l'accumulation des fibres dans le cerveau ainsi que le rôle du polymorphisme dans les phénomènes de « déformation » (*strain phenomenon*) décrits dans les maladies liées aux amyloïdes. Les résultats sont publiés dans la revue *Angewandte Chemie International Edition*.

Dans cette expérience, les physiciens ont étudié des fibres amyloïdes de longueur micrométrique, obtenues par incubation d'alpha-lactalbumine (ou HET-s) en milieu acide. A partir d'une solution diluée contenant ces fibres, ils produisent



(graphique) Spectre de masse de fibres amyloïdes de protéines HET-s. (insert) Photographie de la pièce maîtresse du spectromètre de masse à détection de charge

alors un aérosol de gouttelettes chargées à l'aide d'un électronébuleur. Les gouttelettes, qui contiennent au maximum une fibre, s'évaporent. Il reste alors un jet de fibres chargées qui passent, sous vide, une à une à l'intérieur d'un tube en inox de 3.75 cm de long et de 6.35 mm de diamètre interne. Au passage de la fibre, le tube acquiert une charge électrique identique et de signe opposé à la charge de la fibre, qu'il est alors possible de mesurer. Associée au temps de traversée de la fibre dans le tube, cette mesure permet ainsi d'accéder à la masse de chacune des fibres. Cela a permis aux chercheurs de déterminer que les fibres étudiées dans ce travail pèsent en moyenne $1.82 \cdot 10^{-16}$ grammes, ce qui représente 110 millions d'unités de masse atomique, soit environ 13 000 protéines HET-s par fibre. En répétant cette mesure sur un grand nombre de fibres, les chercheurs ont également déterminé la distribution de masse et montré la très grande dispersion de masse dans l'échantillon.

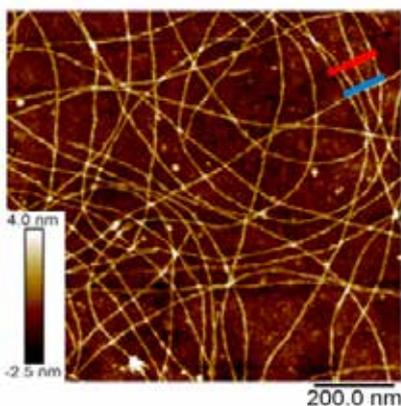


Image AFM de fibres amyloïdes de protéines HET-s

En savoir plus

Mass Determination of Entire Amyloid Fibrils by Using Mass Spectrometry, T. Doussineau¹, C. Mathevon², L. Altamura², C. Vendrely³, P. Dugourd¹, V. Forge² et R. Antoine¹, *Angewandte Chemie International Edition* (2015)

Contact chercheur

Rodolphe Antoine, directeur de recherche CNRS

Informations complémentaires

¹ Institut Lumière Matière (ILM)

² Laboratoire de Chimie et Biologie des Matériaux (LCBM)

³ Equipe de Recherche sur les Relations Matrice Extracellulaire-Cellule (ERRMECe) et Laboratoire des Matériaux et du Génie Physique (LMGP)



www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie

3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16

T 01 44 96 42 53

inp.com@cnrs.fr

www.cnrs.fr/inp



Institut de physique

Actualités scientifiques

Piéger et manipuler un objet sans contact avec un faisceau acoustique

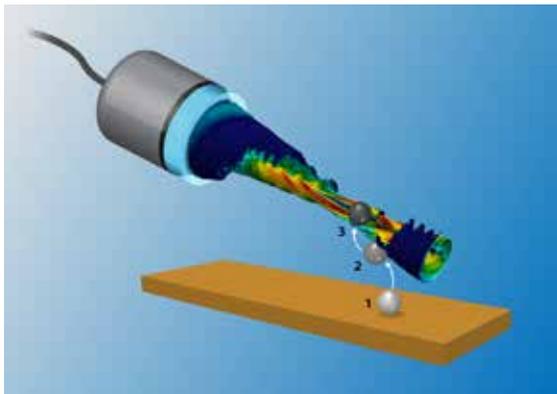
Avril 2016

En sculptant le front d'onde d'un faisceau ultrasonore, des physiciens ont réalisé la première pince acoustique et l'ont utilisée pour piéger et manipuler un objet élastique de taille submillimétrique.

Une onde sonore suffisamment intense peut soulever des particules solides ou fluides, voire même des organismes vivants et des petits animaux, de taille centimétrique. Cette opération nécessite un réseau tridimensionnel de maxima et minima d'intensité acoustique à l'aide de l'onde stationnaire produite par un système de plusieurs émetteurs et de réflecteurs. L'avantage de cette lévitation en réseau, qui agit en même temps sur un grand nombre de particules, est aussi sa principale limitation. Il s'avère impossible de manipuler les particules une à une comme le font si bien les pinces optiques dont les faisceaux laser focalisés permettent à des objets individuels de taille micrométrique de léviter. C'est pourtant ce que viennent de réaliser des physiciens de l'Institut des Nanosciences de Paris (CNRS/UPMC) et de l'Institut Jean le Rond d'Alembert (UPMC/CNRS) en réalisant la première « pince acoustique ». Ils ont piégé et manipulé une bille de polystyrène d'une centaine de micromètres de diamètre avec un unique faisceau ultrasonore progressif et focalisé. La zone focale de ce faisceau d'un volume d'environ un millimètre cube agit comme un piège tridimensionnel capable d'attirer des objets situés à proximité en exerçant une force jusqu'à un million de fois plus grande qu'un laser pour une puissance incidente comparable. Ce travail est publié dans la revue *Physical Review Letters*.

Une pince optique est constituée d'un faisceau laser focalisé dans lequel on place une particule transparente. Telle une lentille, cette dernière dévie la lumière qui la traverse. Il en résulte une force qui attire la particule dans les

zones où l'intensité lumineuse est maximale, c'est-à-dire sur l'axe du faisceau, à son point de focalisation. En outre, dès que la particule réfléchit ou absorbe la lumière, il apparaît une force qui la pousse dans la direction de propagation du faisceau, et cela de manière bien plus intense que la force de capture. Les ondes sonores produisent exactement le même type de force, mais hélas, il n'existe pas d'objet solide qui soit « transparent » aux ondes acoustiques. Tous les objets absorbent ou réfléchissent les ondes acoustiques et la force de poussée est donc toujours présente. C'est pour cette raison que jusqu'à présent, toutes les techniques de manipulation acoustique mettaient en œuvre des ondes stationnaires qui annulent cette poussée, ou une paroi qui bloque la particule piégée. Les physiciens de l'INSP et de d'Alembert ont contourné cette difficulté en réalisant un faisceau acoustique « creux ». Dans ce « vortex acoustique », le front de l'onde décrit une hélice autour de l'axe de propagation où le champ s'annule. Ce champ acoustique particulier est synthétisé grâce à un réseau de 120 transducteurs piézoélectriques émettant des ultrasons d'une fréquence de 1 Mégahertz. Ces émetteurs sont répartis sur un pavage hexagonal compact dont les chercheurs contrôlent indépendamment la phase et l'amplitude d'émission afin d'obtenir le front d'onde désiré (voir schéma). Une lentille acoustique spécialement conçue pour l'expérience focalise ce faisceau à une distance de 8 centimètres des émetteurs. Le faisceau émis agit comme un piège qui attire tout solide élastique de taille inférieure à la longueur d'onde, situé à proximité, vers l'œil du « cyclone » où il reste définitivement piégé. Les options pour manipuler l'objet sont alors de déplacer physiquement l'émetteur ou de contrôler électroniquement la position de la focale. Avec ce dispositif, les chercheurs ont piégé et manipulé des sphères de polystyrène de 200 à 400 micromètres de diamètre avec des forces maximales de l'ordre de 1 micronewton. Il devient ainsi possible d'envisager de manipuler des objets dans des milieux opaques et complexes, autrement inaccessibles aux pinces optiques, avec des forces pertinentes pour sonder et étudier des milieux mous, complexes et biologiques.



© APS/Alan Stonebraker

Schéma de la « pince acoustique » à faisceau ultrasonore unique. 120 transducteurs piézoélectriques disposés sur un plan d'émission génèrent un vortex acoustique. Ces faisceaux particuliers créent une zone sur l'axe de propagation où l'amplitude de la pression acoustique est nulle. Les chercheurs ont démontré qu'une particule élastique située à proximité de ce « cœur de silence » est attirée par une force acoustique tri-dimensionnelle.

En savoir plus

Observation of a single-beam gradient force acoustical trap for elastic particles : acoustic tweezers,

D. Baresch¹, J.-L. Thomas¹ et R. Marchiano², *Physical Review Letters* (2016)

Contact chercheur

Jean-Louis Thomas, directeur de recherche CNRS

Informations complémentaires

¹ Institut des Nanosciences de Paris (INSP)

² Institut Jean le Rond d'Alembert



www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie

3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16

T 01 44 96 42 53

inp.com@cnrs.fr

www.cnrs.fr/inp

Illustration du bandeau : © Jérémy BARANDE/Permission to use granted by Newport Corporation



Piéger et contrôler indépendamment la position de 30 atomes froids

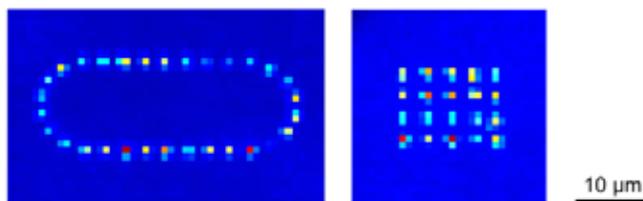
Juillet 2016

Des physiciens viennent de réaliser une nouvelle plateforme expérimentale pour des simulations quantiques mettant en œuvre plusieurs dizaines d'atomes froids et dont il est possible de programmer à volonté la géométrie.

Les physiciens savent aujourd'hui piéger, conserver et contrôler à l'unité ou en très petit nombre des systèmes quantiques tels que photons, ions, ou atomes. A présent, l'enjeu est de réaliser des systèmes constitués d'un plus grand nombre d'objets quantiques, contrôlés individuellement, disposés selon des géométries ajustables, et dont les interactions sont contrôlées. Plusieurs approches sont développées pour réaliser ces systèmes dénommés de manière générique "simulateurs quantiques". Les techniques de piégeage d'ions autorisent un contrôle inégalé de l'état quantique des particules individuelles, mais le nombre d'ions ne peut, à l'heure actuelle, dépasser la vingtaine. De surcroît, ceux-ci sont actuellement limités à une configuration linéaire. Avec les atomes ultrafroids piégés dans des potentiels lumineux périodiques, il est possible de disposer de plusieurs milliers de particules, mais le contrôle précis et individuel de leur position, de leur état et de leurs interactions est très délicat techniquement. Des physiciens du Laboratoire Charles Fabry (LCF, IOGS/CNRS/UPSud) viennent de réaliser un nouveau type de dispositif expérimental destiné à des atomes ultrafroids. Leur méthode de piégeage optique associe un contrôle individuel très fin de l'état des atomes, une grande flexibilité dans leur arrangement géométrique dans un plan et des interactions ajustables. Ils ont d'ores et déjà utilisé cette méthode avec une trentaine d'atomes, c'est-à-dire un nombre suffisamment élevé pour que les simulations numériques directes du système

soient assez difficiles pour que la simulation quantique expérimentale devienne nécessaire. Ce travail est publié dans la revue *Nature*.

Dans ce dispositif, le principe de piégeage des atomes est le même que pour les pincettes optiques ou les réseaux optiques d'atomes froids. La force exercée par une lumière sur des atomes déjà froids les conduit à se placer dans les zones d'intensité maximale ou minimale selon le désaccord de la fréquence lumineuse avec les atomes. Pour concevoir ce dispositif, les chercheurs ont utilisé les techniques d'optique diffractive pour contrôler très précisément la géométrie des maxima et minima de l'intensité lumineuse. Pour cela, ils ajustent le front d'onde de l'onde laser de piégeage avec un modulateur de phase plan dont ils programment les 500 000 pixels. Ils obtiennent ainsi une zone de piégeage carrée de 30 micromètres de côté dans laquelle ils positionnent jusqu'à trente pièges, d'une taille typique d'un micromètre et séparés les uns les autres de quelques micromètres. Ces pièges sont alors alimentés avec des atomes de rubidium refroidis par laser dans une zone qui entoure la zone de piégeage, la petite taille des pièges individuels assurant qu'ils ne sont occupés que par un seul atome. Il reste ensuite à faire interagir ces atomes. Une fois les micropièges remplis, tous les atomes sont portés vers un état très excité, dit "de Rydberg", au moyen d'une succession d'impulsions laser. Ces mêmes impulsions permettent de contrôler précisément l'état final des atomes. Les chercheurs ont alors observé directement l'effet de ces interactions en mesurant les corrélations spatiales entre atomes résultant de la forte interaction entre voisins. Comme l'excitation d'un atome dans un état de Rydberg inhibe l'excitation de ses plus proches voisins, cela conduit à créer un système très corrélé où les atomes ne sont pas indépendants les uns des autres, analogue quantique d'un liquide dense. Cette approche devrait pouvoir s'étendre à une centaine d'atomes et ainsi ouvrir de nouvelles perspectives à la "simulation quantique".



Deux exemples de matrices de pièges, chacun contenant un atome et un seul. La barre donne l'échelle des images.

En savoir plus

Tunable two-dimensional arrays of single Rydberg atoms for realizing quantum Ising models,

H. Labuhn, D. Barredo, S. Ravets, S. de Léséleuc, T. Macrì, T. Lahaye et A. Browaeys

Nature (2016)

Contact chercheur

Thierry Lahaye, chercheur CNRS

Informations complémentaires

Laboratoire Charles Fabry (LCF)

Sources

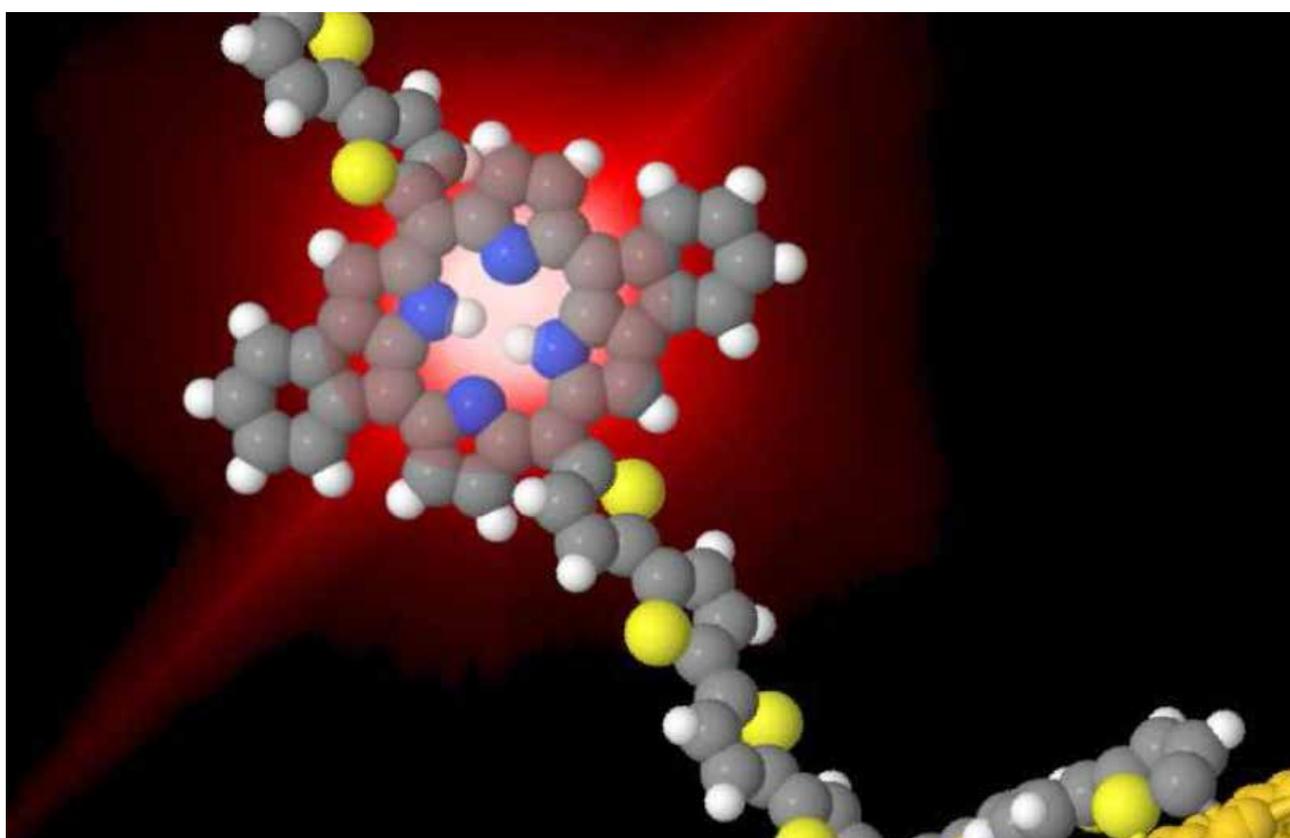


Illustration : © IPCMS/CNRS/Univ. Strasbourg



Une émission spontanée des électrons beaucoup plus rapide grâce à la superradiance

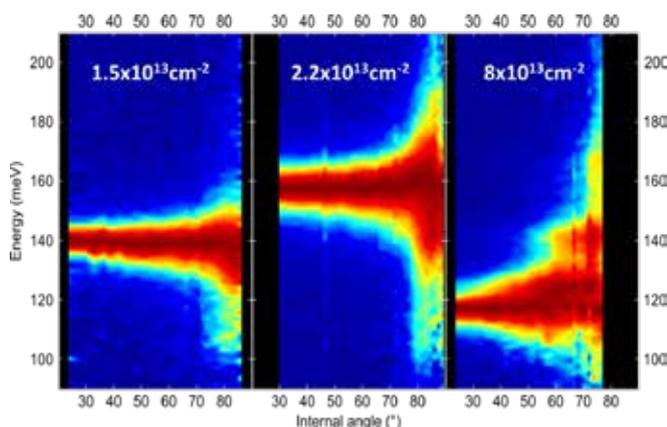
Janvier 2016

En concevant et en réalisant un puits quantique dont la densité électronique est mille fois plus importante que dans les dispositifs habituels, des physiciens ont accéléré d'un facteur un million l'efficacité de l'émission spontanée des électrons grâce au phénomène de superradiance.

Le processus élémentaire à l'origine de l'émission de lumière de la quasi-totalité des sources lumineuses est l'émission spontanée : un corpuscule de matière excitée (atome, molécule...) relâche son énergie par l'émission aléatoire d'un photon. Lorsque plusieurs émetteurs identiques sont regroupés dans un volume dont la taille est plus petite que la longueur d'onde émise, ils émettent de concert et bien plus rapidement que lorsqu'ils sont éloignés les uns des autres : c'est la superradiance. Ce phénomène échappait à l'observation dans les dispositifs de matière condensée où les émetteurs sont tous différents, alors qu'il est observé depuis plusieurs dizaines d'années avec des atomes, identiques par nature. Des physiciens du laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques (CNRS/Univ. Paris Diderot) viennent de contourner cette difficulté en réalisant un dispositif semi-conducteur pour lequel l'interaction de Coulomb associée à la très forte densité électronique donne naissance à des modes collectifs, les plasmons. Ces modes rendent ce système assez homogène pour provoquer de la superradiance et permettre à l'émission spontanée d'être le mécanisme dominant pour la dissipation de l'énergie. Les chercheurs ont ainsi observé, dans leur système, un temps de vie de l'émission spontanée de 10 femtosecondes, soit un million de fois plus rapide que le temps d'émission obtenu pour un électron unique, ce qui s'accorde parfaitement avec les prédictions théoriques.

Ce travail est publié dans la revue *Physical Review Letters*.

La difficulté de ce travail a résidé dans la conception et la réalisation d'un dispositif semi-conducteur à très forte densité d'émetteurs élémentaires, soit, ici, d'électrons. Leur idée a été d'utiliser un puits quantique constitué d'une fine couche d'arseniure de gallium et d'indium (InGaAs) prise « en sandwich » entre deux couches d'arseniure d'aluminium et d'indium (AlInAs). En dopant leur puits quantique avec du silicium durant sa croissance, les chercheurs ont obtenu une concentration électronique (10^{19} électrons/cm³) mille fois plus importante que ce qui est habituellement utilisé dans les transistors ou les diodes lasers. Dans un gaz électronique à si haute concentration, les interactions sont très puissantes et lient les électrons ensemble, donnant ainsi naissance à un mode collectif plasmonique dans lequel tous les électrons oscillent en phase. Pour exciter ce mode collectif et observer la luminescence produite, les chercheurs ont fabriqué et étudié des dispositifs de type transistors, où les contacts source et drain permettent d'injecter du courant électrique directement dans la couche d'arseniure de gallium et d'indium dopée et de chauffer les électrons. Les plasmons superradiants sont ainsi excités par transfert thermique du gaz électronique chauffé. L'étude détaillée de la largeur de raie d'émission a permis de mettre en évidence l'effet de superradiance, qui montre que cette raie d'émission augmente avec la concentration électronique et l'angle d'émission. Pour certains angles, la contribution radiative est la partie prépondérante de l'élargissement, ce qui rend la mesure du taux d'émission très fiable. L'analyse des données révèle que le temps de vie de l'émission spontanée peut être aussi court que 10 femtosecondes. L'émission spontanée devient donc le processus le plus rapide pour dissiper l'énergie qui est fournie au plasmon, beaucoup plus rapide que tous les phénomènes de relaxation non radiatifs caractérisés par des temps de l'ordre de la picoseconde. Cela implique que les plasmons superradiants quittent leur état excité par émission de photons, et pourraient devenir le noyau actif de nouvelles sources de rayonnement efficaces dans l'infrarouge.



Intensité d'émission (en échelle couleur) mesurée en fonction de l'angle et de la fréquence d'émission pour trois échantillons avec niveaux de dopage surfaciques différents (par ordre croissant de gauche à droite).

En savoir plus

Superradiant emission from a collective excitation in a semiconductor, T. Laurent¹, Y. Todorov¹, A. Vasanelli¹, A. Delteil¹, C. Sirtori¹, I. Sagnes² et G. Beaudoin², *Physical Review Letters* (2015)

Contact chercheur

Carlo Sirtori, Professeur de l'Université Paris Diderot - Paris 7

Informations complémentaires

¹Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques (MPQ)

²Laboratoire de Photonique et Nanostructures (LPN)



Institut de physique

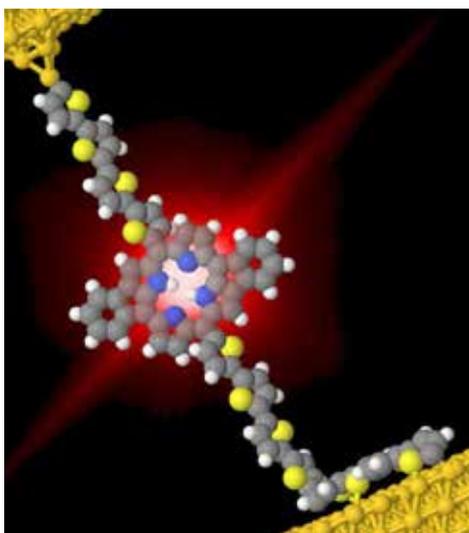
Actualités scientifiques

Convertir des électrons en plasmons à l'aide d'une seule molécule

Avril 2016

Une première étape importante visant à utiliser une molécule unique comme convertisseur entre circuits électroniques et plasmoniques vient d'être franchie !

Unissant onde électromagnétique et excitation électronique à la surface d'un métal, les plasmons de surface peuvent être guidés et confinés à l'échelle du nanomètre, et potentiellement permettre le développement d'une électronique ultra miniaturisée et ultra rapide. A cette échelle de taille, une solution idéale pour produire et détecter des plasmons est d'utiliser une unique molécule. Toutefois, le contact direct entre une molécule et les électrodes censées l'exciter est fatal pour les propriétés optiques et électroniques de cette dernière. Il reste possible d'utiliser des molécules en solution excitées optiquement, ou bien une molécule isolée du métal par une fine couche d'isolant et excitée par un microscope à effet tunnel. Déjà mises en pratique, ces solutions ne s'avèrent toutefois pas exploitables pour des applications et notamment pas propices à la réalisation de composants hybrides couplant circuits électriques et plasmoniques. Pour la première fois, des équipes de physiciens et de chimistes de l'Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg (CNRS/Univ. Strasbourg) et de l'Institut Parisien de Chimie Moléculaire (CNRS/UPMC) viennent d'intégrer une molécule de porphyrine dans un circuit électronique à l'aide de fils moléculaires. Ils sont alors parvenus à faire émettre à cette dernière des plasmons en faisant circuler un courant électrique dans le circuit ainsi créé. Ce travail, qui permet d'envisager la réalisation de transducteurs couplant des circuits électroniques traditionnels à des circuits plasmoniques ultra miniatures et ultra rapides, est publié dans la revue *Physical Review Letters*.



Vue artistique de l'émission de lumière d'une molécule unique de porphyrine.
© IPCMS/CNRS

Pour commencer, les chercheurs ont synthétisé chimiquement leur dispositif à la surface d'un substrat d'or (Au111). Ils ont déposé par évaporations successives deux sous-parties de la structure organique finale. La première est une molécule de porphyrine capable d'émettre de la lumière, la seconde, un fil organique (ici du polythiophène) capable de conduire efficacement le courant électrique. Un chauffage de l'échantillon a permis la réalisation de chaînes composées d'une succession de molécules émettrices et de fils conducteurs, *via* un processus de polymérisation. Ensuite, en travaillant dans des conditions de vide et de très basses températures, l'extrémité de l'un des fils de polythiophène a été saisie avec la pointe d'un microscope à effet tunnel (par simple contact physique) et soulevée (de 2 nanomètres), afin d'éloigner la molécule émettrice la plus distante dans la chaîne du substrat. Le fil de thiophène permet ainsi le passage des électrons qui génèrent l'excitation (le circuit), mais également l'éloignement de la partie émettrice des électrodes, ce qui évite de fait l'hybridation avec les orbitales du substrat. Une fois la molécule suspendue dans la jonction, les chercheurs ont appliqué une différence de tension entre les électrodes. Le courant qui traverse la jonction moléculaire provoque l'excitation de la molécule. La lumière émise lors du retour à l'état non excité a été collectée par une lentille qui redirige le signal vers une caméra CCD munie d'un spectromètre. Ce système permet de résoudre en énergie la lumière émise. La « désexcitation » de cet émetteur conduit à l'observation d'une raie d'émission lumineuse intense, à une longueur d'onde caractéristique de la fluorescence de la molécule. Les physiciens ont alors comparé cette longueur d'onde au spectre des plasmons qu'ils ont mesuré par ailleurs. Ils ont constaté que l'émission de la molécule était réduite aux fréquences pour lesquelles les plasmons étaient intenses. Cela signifie qu'au lieu d'être émise sous forme de lumière, une partie de l'énergie cédée à la molécule a été convertie en plasmons. Autrement dit, nous avons ici la preuve d'une émission efficace de plasmons lorsque les conditions de résonance sont vérifiées.

En savoir plus

[Narrow-line single-molecule transducer between electronic circuits and surface plasmons,](#)

Michael C. Chong, Gaël Reecht, Hervé Bulou, Alex Boeglin, Fabrice Scheurer, Fabrice Mathevet et Guillaume Schull,

Physical Review Letters, le 21 janvier 2016

Contact chercheur

Guillaume Schull, chargé de recherche CNRS

Informations complémentaires

¹ Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg (IPCMS)

² Institut Parisien de Chimie Moléculaire (IPCM)



www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16
T 01 44 96 42 53
inp.com@cnrs.fr
www.cnrs.fr/inp



Institut de physique

Actualités scientifiques

Un microlaser pour l'ultraviolet profond à base de nitrure

Juin 2016

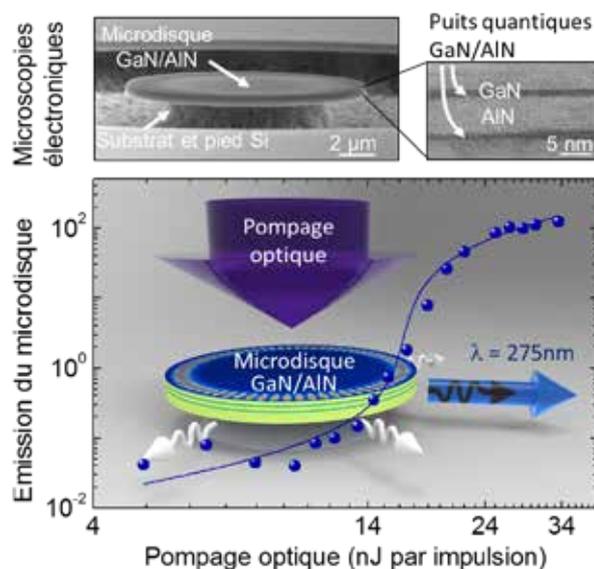
En réalisant le premier microlaser émettant dans l'ultraviolet profond, des physiciens viennent de démontrer le fort potentiel des puits quantiques à base de nitrure pour la réalisation de lasers dans l'ultraviolet profond.

Depuis une dizaine d'années, les physiciens savent réaliser des lasers qui émettent dans l'ultraviolet profond, ou UV-C, avec comme perspective des applications en photochimie, spectroscopie ou encore pour la désinfection bactérienne de l'eau ou de l'air. Ces lasers ne sont toutefois encore que des démonstrations de laboratoire, sous forme de lasers-rubans, de dimension proche du millimètre, qui intègrent des couches actives complexes dont l'émission est peu efficace. Des physiciens du Laboratoire Charles Coulomb (L2C, CNRS/Univ. Montpellier), du Centre de Recherche sur l'Hétéro-Epitaxie et ses Applications (CRHEA, CNRS), de l'Institut d'Electronique Fondamentale (IEF, CNRS/Univ. Paris-Sud) et de l'Institut Nanosciences et Cryogénie (Inac, CNRS/CEA/Univ. Grenoble Alpes) viennent de réaliser un nouveau type de laser émettant dans l'ultraviolet profond en plaçant des puits quantiques base de nitrure de gallium et de nitrure d'aluminium dans un microdisque de nitrure d'aluminium faisant office de résonateur optique, le tout reposant sur un substrat de silicium. Avec ce travail, ils étendent le spectre des émetteurs de lumière intégrables au sein d'une même plateforme photonique sur silicium,

celle des sources de lumière à base de nitrure, un matériau transparent de l'infrarouge à l'ultraviolet profond et dont la technologie est déjà bien maîtrisée notamment pour la réalisation de diodes électroluminescentes pour l'éclairage ou des diodes laser Blu-Ray®. Ce travail est publié dans la revue *Scientific Reports*.

Pour réaliser l'amplificateur de lumière qui constitue le cœur de leur laser, les physiciens ont fabriqué de nouvelles nanostructures à puits quantiques GaN/AlN. C'est l'épaisseur de la couche de nitrure de gallium constituant ce puits, trois couches atomiques, qui détermine la bande d'émission lumineuse dans l'UV-C, à une longueur d'onde de 275 nanomètres. Ce puits est intégré au sein de microdisques de nitrure d'aluminium qui présentent des résonances photoniques marquées. La grande transparence de ce matériau dans l'ultraviolet permet d'obtenir des facteurs de qualité dépassant 4000. En utilisant un microscope, ces chercheurs ont excité les microdisques par un pompage optique impulsionnel et mesuré leur spectre d'émission. Au seuil de l'émission laser, ils ont observé l'affinement du spectre et l'augmentation d'un facteur 1000 de la puissance émise dans le mode de galerie, caractéristique du fonctionnement des microlasers. Il faut en outre noter que contrairement à la majorité des microlasers réalisés jusqu'à présent, celui-ci a l'avantage de conserver une très grande efficacité d'émission à température ambiante et de ne pas nécessiter d'environnement cryogénique.

Les chercheurs travaillent aujourd'hui à la réalisation de microlasers plus complexes, intégrant une jonction semi-conductrice pour un fonctionnement sous pompage électrique plus adapté aux futures applications.



Images par microscopie électronique du microdisque et des puits quantiques qu'il contient. Intensité émise par la tranche du microdisque en fonction de la puissance du pompage optique (cercles) et son ajustement par le modèle du microlaser (trait plein).

En savoir plus

[Deep-UV nitride-on-silicon microdisk lasers](#),

J. Sellés, C. Brimont, G. Cassabois, P. Valvin, T. Guillet, I. Roland, Y. Zeng, X. Checoury, P. Boucaud, M. Mexis, F. Semond et B. Gayral, *Scientific Reports* (2016)

- Retrouvez l'article sur la base d'archive ouverte **HAL**

Contact chercheur

Thierry Guillet, Professeur à l'Université de Montpellier

Informations complémentaires

Laboratoire Charles Coulomb (L2C)

Institut d'électronique fondamentale (IEF)

Centre de Recherche pour l'Hétéro-Epitaxie et ses Applications (CRHEA)

Institut Nanosciences et Cryogénie (Inac)



www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie

3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16

T 01 44 96 42 53

inp.com@cnrs.fr

www.cnrs.fr/inp



Institut de physique

Alertes et communiqués de presse du CNRS

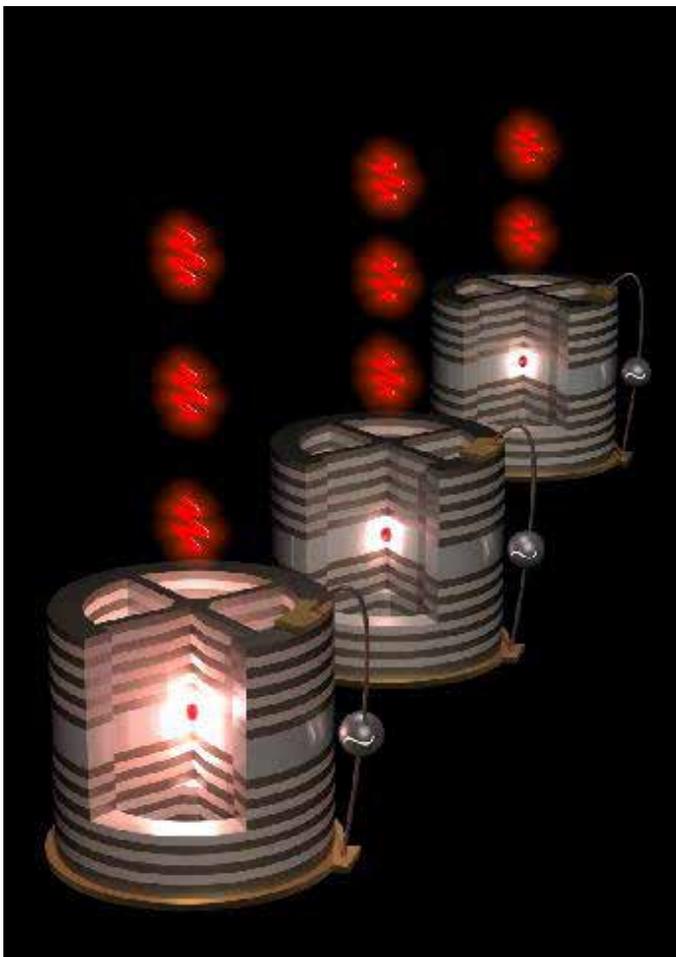
Une nouvelle source de lumière quantique

mars 2016

Une nouvelle source de photons uniques ultra-brillante, 15 fois plus brillante que les sources usuelles et émettant des photons indiscernables à 99,5 % les uns des autres, a été mise au point par des chercheurs du CNRS, de l'université Paris Diderot et de l'université Paris-Sud. Cette prouesse a été rendue possible grâce au positionnement, avec une précision nanométrique, d'une boîte quantique dans une microcavité optique. Un contrôle électrique permet en outre de réduire le « bruit » autour des boîtes quantiques, bruit qui rend habituellement les photons différents les uns des autres. Obtenus en collaboration avec des chercheurs de Brisbane (Australie), ces résultats permettront de réaliser des calculs quantiques d'une complexité sans précédent, premier pas vers la création d'ordinateurs quantiques. Ils sont publiés dans *Nature Photonics* le 7 mars 2016. [...]

Centre de nanosciences et de nanotechnologies

contact chercheuse : Pascale Sennelart,
pascale.sennelart-mardon@c2n.upsaclay.fr



Le vent solaire irradie les grains organiques dans le nuage protosolaire et provoque leur enrichissement en isotope lourd de l'hydrogène.

© B. Laurent à partir d'images du HST NASA/ESA

Naissance d'un photoélectron

novembre 2016

Une expérience réalisée sur de l'hélium par une équipe de recherche impliquant des laboratoires du CEA, du CNRS, de l'université Pierre & Marie Curie (UPMC) et de l'Université Autonome de Madrid (UAM), a permis d'observer, pour la première fois en temps réel, tous les détails de l'émission d'un photoélectron par un atome d'hélium. Cette observation de l'effet photoélectrique pourrait permettre de contrôler plus finement certaines réactions chimiques ou le déplacement des électrons au sein de nanostructures. Ces résultats ont été publiés dans *Science* le 11 novembre 2016. [...]

Laboratoire interactions, dynamiques et lasers



Dispositif expérimental : on distingue, devant l'expérimentatrice, l'enceinte où les atomes d'hélium sont photoionisés. Les électrons éjectés sont guidés par un champ magnétique vers un détecteur situé dans la cellule de gauche. Entre les deux, le long temps de vol de 2 mètres de long permet d'analyser en énergie les électrons émis avec une résolution de ~ 0.2 électron-volt. © M. Turconi – CEA.

Laser - plasma

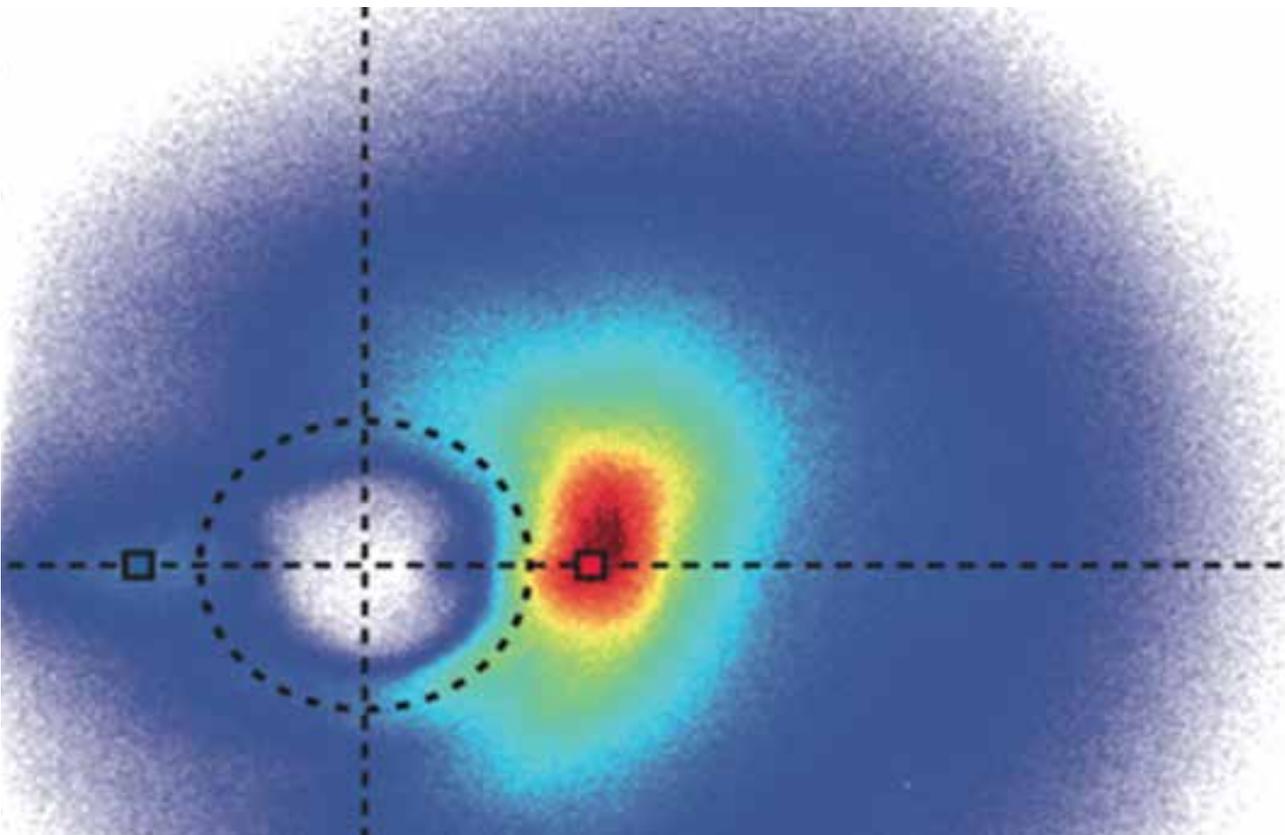


Illustration : © Fabien Quéré (LDL, CNRS/CEA) - Jérôme Faure (LOA, CNRS/XENST)



Institut de physique

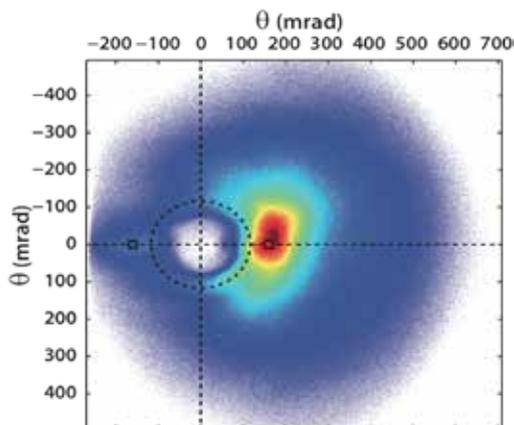
Actualités scientifiques

Des électrons qui accélèrent en surfant sur une impulsion laser

Avril 2016

Des physiciens viennent pour la première fois d'accélérer des électrons « dans le vide », c'est-à-dire à l'aide du seul champ électrique ultra-intense d'une impulsion laser. Jusqu'à présent, l'accélération d'électrons mettait en jeu le champ électrique produit par une impulsion laser dans un plasma, et non le champ électrique de l'impulsion laser elle-même.

Le champ électrique présent dans les impulsions lumineuses ultra-intenses que l'on sait produire aujourd'hui dépasse le milliard de kilovolts par mètre, soit assez pour réaliser un accélérateur de particules relativement compact. Toutefois, pour en profiter, il faut injecter dans ce champ des électrons déjà assez rapides pour qu'ils accompagnent cette vague lumineuse et qu'ils soient accélérés en surfant sur son front. C'est ce qu'ont réalisé pour la première fois dans le monde des physiciens du LIDYL (CEA/CNRS/Univ. Paris Sud) et du LOA (CNRS/X/ENSTA Paristech) en accélérant des électrons à une énergie de 10 mégaelectronvolts sur une distance de seulement 80 micromètres. Pour cela, ils ont mis à profit un miroir plasma qui, tout en réfléchissant une impulsion laser femtoseconde, a injecté dans cette dernière des électrons rapides excités par cette même impulsion lors de sa réflexion sur le miroir. Ce travail est publié dans la revue *Nature Physics*.



Profil du faisceau d'électrons issu du miroir plasma. Les couleurs reflètent l'intensité des électrons émis. Déviés du fait de l'accélération de 1.5 MeV à 10 MeV sur une distance de 80 μm par l'impulsion laser, l'impulsion d'électrons de haute énergie est bien visible au centre de la figure (tache rouge), tandis que peu d'électrons sont émis dans la direction du faisceau lumineux réfléchi (tache blanche).

© Fabien Quéré (LIDYL-UH) – Jérôme Faure (LOA).

Pour ce travail, les physiciens ont utilisé des impulsions laser femtosecondes produites par le laser UH100 de l'Iramis, un laser dont la puissance crête atteint 100 térawatts et qui délivre 10 fois par seconde une impulsion lumineuse longue de 25 femtosecondes à une longueur d'onde de 800 nanomètres. La clé du succès de cette expérience a été de parvenir à injecter des électrons de vitesse suffisamment élevée dans le champ laser. L'idée des chercheurs a été d'utiliser un miroir plasma obtenu en focalisant les impulsions laser à incidence oblique sur une plaque de silice. Afin d'optimiser l'interaction de cette impulsion avec la matière, la silice est pré-ionisée quelques centaines de femtosecondes avant l'arrivée de l'impulsion par une première impulsion mille fois moins intense. Le plasma obtenu a une densité électronique croissant progressivement jusqu'à son maximum sur une épaisseur très faible (quelques dizaines de nanomètres) et surtout contrôlable. Lorsque l'impulsion intense interagit avec ce plasma, il se crée dans ce dernier un champ électrique qui pré-accélère des électrons à environ 1 MeV, soit 0.95 fois la vitesse de la lumière. Les électrons sont alors suffisamment rapides pour surfer sur l'impulsion laser fléchée par le miroir et être ainsi accélérés jusqu'à des énergies de 10 MeV.

Cette méthode d'injection a pu voir le jour grâce au travail de développement réalisé sur les miroirs plasmas et notamment par le contrôle accru de la rampe de densité électronique sur la face avant du miroir plasma.

En savoir plus

Vacuum laser acceleration of relativistic electrons using plasma mirror injectors, M. Thevenet¹, A. Leblanc², S. Kahaly², H. Vincenti¹, A. Vernier¹, F. Quéré² et J. Faure¹, *Nature Physics* (2015)

- Retrouvez l'article sur la base d'archives ouvertes [arXiv](#)

Contact chercheur

Jérôme Faure, directeur de recherche CNRS

Fabien Quéré, chercheur CEA

Informations complémentaires

¹Laboratoire Interactions, Dynamiques et Lasers (LIDYL)

²Laboratoire d'Optique Appliquée (LOA)



www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie

3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16

T 01 44 96 42 53

inp.com@cnrs.fr

www.cnrs.fr/inp

Illustration du bandeau : © Jérémy BARANDE/Permission to use granted by Newport Corporation



Institut de physique

Actualités scientifiques

Accélérer un faisceau intense d'électrons relativistes à l'aide de plasmons de surface

Juillet 2016

Des physiciens viennent pour la première fois de générer un faisceau intense d'électrons relativistes au moyen d'une onde de surface produite par une impulsion laser sur la surface d'un solide préalablement structurée par réseau périodique.

Les lasers à impulsions ultracourtes et ultra-intenses développés depuis une dizaine d'années ont permis de démontrer expérimentalement l'accélération de paquets d'électrons de quelques picocoulombs à des énergies atteignant le gigaélectronvolt dans des plasmas peu denses créés dans des gaz. Les électrons y sont accélérés par le champ électrique intense dans l'onde de sillage créée par le laser qui se propage dans le plasma. Aujourd'hui, les enjeux concernent l'augmentation du courant des électrons accélérés et l'amélioration du contrôle de la qualité des faisceaux produits, dans le but de développer des applications, notamment dans le domaine médical. Un pas vient d'être réalisé dans cette direction par des physiciens du Laboratoire des Solides Irradiés¹, du Centre de Physique Théorique² et du Laboratoire d'Utilisation des Lasers Intenses³ pour la partie théorique, et du Laboratoire Interactions, Dynamiques et Lasers⁴ pour la partie expérimentale, qui viennent d'obtenir un faisceau d'électrons énergétique et dense à l'excitation d'une onde plasma de surface localisée à l'interface entre l'air et un plasma surdense. Dans cette configuration, les électrons sont accélérés par le champ de l'onde de surface, localement plus intense que celui du laser qui ne pénètre pas dans le plasma. Des paquets d'électrons ayant une énergie d'une dizaine de mégaélectronvolts ont été obtenus avec des intensités lasers faiblement relativistes. Ce travail est l'aboutissement d'un long travail de modélisation théorique et numérique qui a permis aux chercheurs de déterminer la structuration de la surface de la cible, couplant de manière optimale l'impulsion laser aux ondes de surface, en l'occurrence, une modulation de la surface avec une période de l'ordre du micromètre. Ces travaux se sont concrétisés expérimentalement grâce au développement récent de nouvelles techniques, comme celle du "miroir plasma", qui permettent de générer des impulsions laser s'allumant suffisamment rapidement pour que l'onde de surface soit excitée avant que la structure de surface ne soit détruite. Ce travail est publié dans la revue *Physical Review Letters*.

Les physiciens ont conduit ce travail en deux étapes. Tout d'abord, la simulation de l'excitation des ondes de surface dans un plasma surdense a été étudiée via

le développement de simulations dites « Particle-In-Cell ». Ces simulations ont été effectuées en utilisant le code EM12D développé au Centre de Physique Théorique dans lequel un plasma à surface modulée a été implémenté. Ce code repose sur un modèle particulaire électromagnétique relativiste qui prend en compte les collisions binaires électron-électron et électron-ion. Il résout les équations de Maxwell pour les champs électromagnétiques et les équations couplées du mouvement de plus de 60 milliards d'électrons. Extrêmement bien parallélisé et performant, ce code permet de simuler des plasmas surdenses initialement froids et des géométries de grandes tailles réalistes par rapport aux configurations expérimentales. Les durées de simulations sont suffisamment longues pour étudier de façon approfondie l'accélération de paquets d'électrons le long de la surface de la cible. Ces simulations extrêmement lourdes en termes de temps de calcul (~ 2.5 millions d'heures CPU sur 8192 processeurs) et de volumes de données ont été réalisées sur la machine BlueGene/Q de l'IDRIS (centre national de calcul intensif du CNRS).

Les résultats obtenus ont mis en évidence l'excitation d'onde de surface au point d'impact du laser et montrent que des électrons piégés dans l'onde de surface sont accélérés jusqu'à des énergies importantes (paquets d'électrons de densité de l'ordre de $6 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ et d'énergie de 12 MeV pour une intensité laser de $4 \cdot 10^{19} \text{ W/cm}^2$). Ces simulations ont été complétées par le développement d'un modèle de particules tests dans le but de suivre la dynamique d'un électron individuel dans le champ de l'onde de surface et d'affiner la compréhension du processus d'accélération des électrons au cours de l'interaction. Ce modèle montre la possibilité qu'en régime d'interaction relativiste, des électrons s'auto-injectent dans l'onde de surface avec une vitesse proche de celle de la vitesse de phase de l'onde, très proche de la vitesse de la lumière. Cette approche permet de définir un régime optimum d'accélération. Les expériences réalisées sur la base de ces simulations ont permis de valider ce nouveau mécanisme d'accélération. Dans ces expériences, en présence d'une onde de surface excitée par le laser UHI100 de l'IRAMIS (de longueur d'onde 800 nm et de durée 25 fs), des électrons se propageant le long de la surface du plasma avec une énergie comprise entre 8 et 20 MeV ont été mesurés pour une intensité laser de $5 \cdot 10^{19} \text{ W/cm}^2$. Un courant de 120 pC a été obtenu, ce qui rend cette approche particulièrement attractive pour la production de faisceaux d'électrons rapides. Dans le cadre du développement en cours d'une nouvelle génération de lasers encore plus puissants l'équipe de chercheurs poursuit maintenant ses travaux pour étudier l'excitation de ces ondes de surface dans un régime ultra-relativiste ($> 10^{20} \text{ W/cm}^2$) et obtenir des faisceaux d'électrons encore plus intenses.

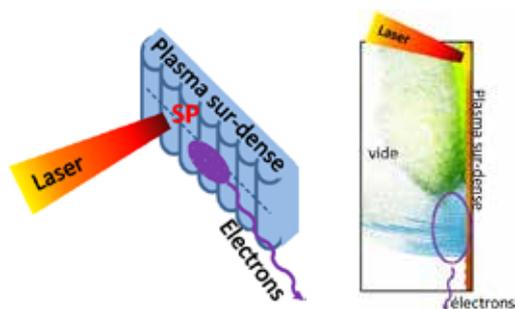


Schéma de l'excitation par laser d'une onde plasma de surface (gauche). Mise en évidence dans les simulations Particle-In-Cell du faisceau d'électrons accélérés par l'onde de surface et se propageant le long du plasma (droite)

En savoir plus

[Electron acceleration by relativistic surface plasmons in laser-grating interaction](#)

L. Fedeli, A. Sgattoni, G. Cantono, D. Garzella, F. Réau, I. Prencipe, M. Passoni, M. Raynaud, M. Kveton, J. Proska, A. Macchi et T. Ceccotti, *PRL* (2016)

Contact chercheur

Michèle Raynaud, chercheuse au CEA

Informations complémentaires

¹ Laboratoire des Solides Irradiés (LSI, CNRS/X/CEA)

² Centre de Physique Théorique (CPHT, CNRS/X)

³ Laboratoire d'Utilisation des Lasers Intenses (LULI, CNRS/X/CEA)

⁴ Laboratoire Interactions, Dynamiques et Lasers (LIDYL, CNRS/CEA/Univ. Paris-Saclay)



www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie

3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 12

T 01 44 96 42 53

inp.com@cnrs.fr

www.cnrs.fr/inp

Commutation optique

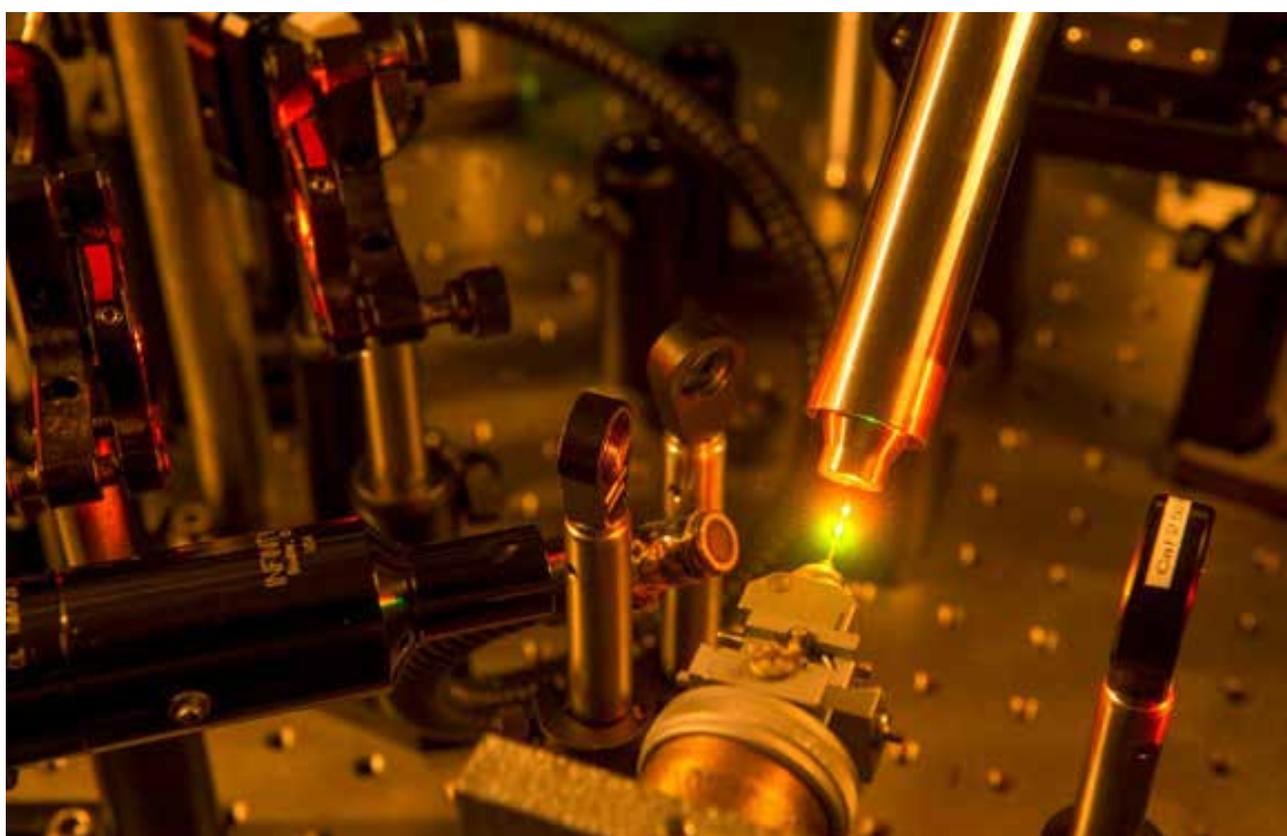


Illustration : © Kaksomer/CNRS/Photoblique



Institut de physique

Actualités scientifiques

Une vague élastique pour amplifier la photo-commutation ultra-rapide de matériaux

Juin 2016

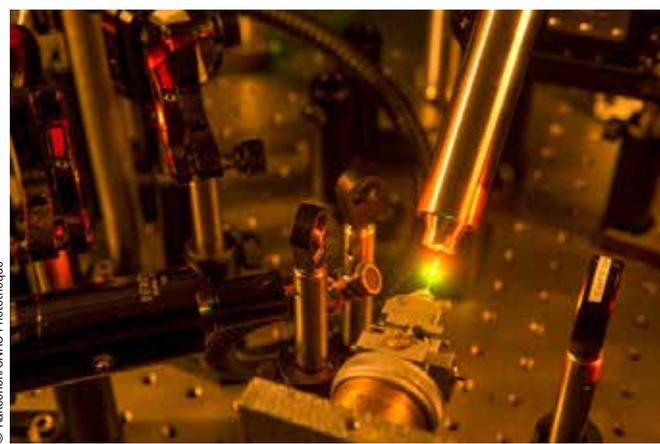
Des physiciens ont découvert un nouveau processus augmentant la réponse à un flash laser d'un matériau photo-commutable par l'intermédiaire d'effets coopératifs élastiques.

Lorsqu'elles absorbent un photon, certaines molécules voient changer leurs propriétés optiques, magnétiques, ou même leur volume. D'une durée inférieure à une picoseconde, cette transformation se produit de la même manière que la molécule soit isolée en solution ou dans un solide. Toutefois, dans un solide soumis à une impulsion laser, le gonflement ultra-rapide d'un grand nombre de molécules se traduit par la génération d'une onde mécanique de déformation dans le matériau. Des physiciens de l'Institut de Physique de Rennes (IPR, CNRS/Univ. Rennes 1) viennent de montrer que le couplage élastique entre les molécules amplifie l'effet de l'impulsion laser lorsque suffisamment de molécules sont photo-excitées. Cette particularité du matériau cristallin conduit à la commutation d'un nombre bien plus grand de molécules que lorsque ces dernières sont isolées les unes des autres. La propagation de cette vague élastique induite par la lumière modifie aussi l'état magnétique, la résistivité ou encore la couleur des cristaux et ceci ouvre la voie à de nouveaux dispositifs photo-commutables ultra-rapides et moins énergivores. Ce travail est publié dans la revue *Nature Materials*.

Pour étudier ce phénomène, les physiciens ont utilisé des nanocristaux (300 nm) formés de molécules photomagnétiques synthétisées par des chimistes de l'Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay. Ils ont excité ces échantillons avec une impulsion laser femtoseconde qui initie la transformation

synchronisée d'une partie des molécules. Dans le même temps, les chercheurs ont mesuré l'évolution temporelle de la quantité de molécules transformées en suivant l'absorption de l'échantillon à l'aide d'un second laser. Ces mesures montrent un effet de seuil suivant l'énergie de lumière excitant le cristal. Lorsque moins de 3 % des molécules sont transformées vers l'état magnétique de plus haut volume, elles relaxent rapidement vers leur état initial. Lorsque plus de 3 % des molécules sont excitées, la transformation du matériau s'auto-amplifie et le nombre de molécules transformées atteint plus de 30 %. Pour comprendre ce phénomène, les chercheurs de l'IPR et de lasi (Roumanie) ont développé un modèle théorique prenant en compte les interactions élastiques entre molécules. Lorsqu'un photon transforme une molécule en augmentant son volume, celle-ci subit la pression des molécules voisines et revient rapidement à son état initial. Mais cette molécule dilatée exerce aussi une pression sur le réseau qui l'entoure. Quand suffisamment de molécules sont transformées simultanément avant d'avoir le temps de relaxer – ce qui n'est possible qu'avec un laser ultra-bref – elles créent ensemble une pression négative prenant le dessus sur le réseau et le dilatant, ce qui entraîne la transformation d'autres molécules vers l'état magnétique de plus haut volume. Ceci est particulièrement efficace dans un nanomatériau où l'expansion de volume se fait en moins d'une nanoseconde. Un photon transforme alors jusqu'à 5 molécules en moyenne. Autrement dit, il faut alors 5 fois moins d'énergie pour transformer une molécule. Le seuil de 3 % de molécules excitées correspond dans un cristal tridimensionnel à une molécule dans une boîte de $3 \times 3 \times 3$. L'amplification commence donc quand la densité de molécules excitées est suffisamment élevée pour qu'elles puissent interagir sur des distances proches.

Ce nouveau processus de contrôle de matériaux par la lumière ouvre un vaste champ d'application dans le domaine de matériaux photo-actifs sensibles aux effets de volume.



© Kaksanen/CNRS Photothèque

Expérience permettant d'étudier la transformation de nanocristaux à une excitation laser femtoseconde (orange) à l'aide d'un autre laser (vert) mesurant l'évolution de son absorption.

En savoir plus

Elastically driven cooperative response of a molecular material impacted by a laser pulse,

R. Bertoni, M. Lorenc, H. Cailleau, A. Tissot, J. Laisney, M-L. Boillot, L. Stoleriu, A. Stancu, C. Enachescu et E. Collet, *Nature Materials* (2016)

- Retrouvez l'article sur la base d'archive ouverte [HAL](#)

Contact chercheur

Eric Collet, Professeur à l'Université Rennes 1

Informations complémentaires

Institut de Physique de Rennes (IPR)

Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay (ICMMO)



www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16
T 01 44 96 42 53
inp.com@cnrs.fr
www.cnrs.fr/inp



Institut de physique

Actualités scientifiques

Contrôler des molécules magnétiques bistables auto-organisées avec de la lumière

Octobre 2016

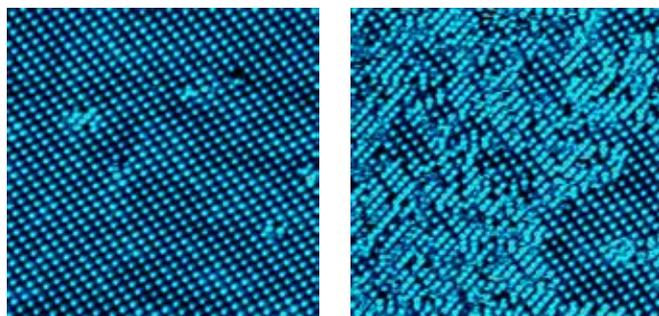
En collaboration avec des chimistes, des physiciens viennent de montrer qu'une fois déposées sur une surface d'or, des molécules magnétiques bistables, c'est-à-dire capables de basculer d'un état non magnétique à un état magnétique, se regroupent en îlots et s'auto-organisent en une structure périodique. Ils ont également mis en évidence qu'une excitation lumineuse permet le changement d'état de ces molécules.

Les molécules magnétiques bistables s'avèrent particulièrement intéressantes pour la spintronique moléculaire, car le passage d'un état à l'autre peut être piloté par un stimulus extérieur tel que la température, la pression ou l'absorption de lumière. Toutefois, si cette propriété est bien connue lorsque ces molécules forment un solide ou lorsqu'elles sont en solution, persiste-t-elle lorsque les molécules sont adsorbées sur une surface ? Pour répondre à cette question, des physiciens du laboratoire Matériaux et phénomènes quantiques (MPQ, CNRS/Univ. Paris Diderot) et du Service de physique de l'état condensé (SPEC, CEA Saclay), ainsi que des chimistes de l'Institut de chimie moléculaire et des matériaux d'Orsay (ICMMO, CNRS/Univ. Paris Sud/Univ. Paris Saclay) ont étudié des molécules bistables à base de fer, déposées sur un substrat métallique. Des mesures réalisées au microscope à effet tunnel révèlent que ces molécules s'organisent en un réseau régulier composé d'un tiers des molécules dans l'état magnétique et deux tiers dans l'état non magnétique.

Les chercheurs ont également réussi à commuter ces molécules, c'est-à-dire à les faire transiter d'un état à un autre, à l'aide d'une lumière bleue. Ce travail fait l'objet d'une publication dans *Nature Communications*.

En premier lieu, les chimistes ont synthétisé la molécule de $\text{Fe}^{II}[(3,5\text{-CH}_3)_2\text{Pz}]_2\text{BH}_2$ (Pz = pyrazoly), qui présente une bistabilité en volume, facilement sublimable sous ultraviolette. Lorsque la température est supérieure à 150 Kelvin, cette molécule se trouve dans l'état magnétique ; à température inférieure, elle se trouve dans l'état non magnétique. Dans un second temps, les physiciens ont déposé ces molécules sur une surface d'or, puis les ont observées par microscopie à effet tunnel à très basse température, de l'ordre de 5 Kelvin. Les molécules apparaissent sous forme d'une couche épaisse et s'organisent en îlots dont la taille typique s'élève à quelques centaines de nanomètres et comportant quelques dizaines de milliers de molécules. A l'intérieur de ces îlots, les molécules sont au contact les unes des autres et s'organisent en un réseau périodique. En changeant la tension d'imagerie du microscope, les chercheurs ont mis en évidence un sous-réseau régulier au sein duquel un tiers des molécules s'avèrent plus conductrices – elles se trouvent dans l'état magnétique – que les autres (non magnétiques). La combinaison de mesures par spectroscopie tunnel et de calculs *ab initio* confirme la coexistence des deux états magnétique et non magnétique sur la surface. En éclairant la jonction tunnel par une lumière bleue, le changement d'état des molécules a pu être suivi en direct.

Ce travail démontre pour la première fois la possibilité d'induire la photocommutation de molécules en contact avec une surface métallique, de l'état non magnétique vers l'état magnétique.



Images de microscopie à effet tunnel de 50 nm de côté de la même zone qui montrent à gauche l'auto-organisation des molécules avec un tiers d'entre elles qui apparaissent plus brillantes (état magnétique) avant irradiation lumineuse et à droite la phase photoexcitée avec plus de molécules dans l'état magnétique (irradiation lumineuse en cours).

En savoir plus

Molecular-scale dynamics of light-induced spin cross-over in a two-dimensional layer

K. Bairagi, O. Isasco, A. Bellec, A. Kartsev, D. Li, J. Lagoute, C. Chacon, Y. Girard, S. Rousset, F. Miserque, Y. J. Dappe, A. Smogunov, C. Barreateau, M.-L. Boillot, T. Mallah et V. Repain

Nature Communications (2016), doi:10.1038/ncomms12212

Contact chercheur

Amandine Bellec, chargée de recherche CNRS

Marie-Laure Boillot, directrice de recherche CNRS

Informations complémentaires

Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques (MPQ)

Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay (ICMMO)

Service de l'Etat Condensé (SPEC)

cnrs

www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie

3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16

T 01 44 96 42 53

inp.com@cnrs.fr

www.cnrs.fr/inp



Modulation ultrarapide de la polarisation de la lumière dans des matériaux ferroélectriques

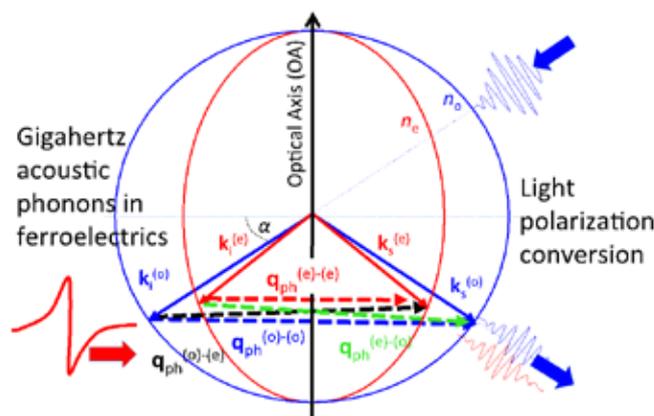
Novembre 2016

Des chercheurs viennent de réaliser un nouveau type de modulateur « acousto-optique » tout optique permettant de moduler l'intensité, la phase ou la polarisation d'un faisceau lumineux, à l'échelle de la picoseconde.

Dans un système tel que le LIDAR, l'analyse à distance de la composition chimique de l'atmosphère est réalisée grâce à un faisceau laser dont la fréquence est décalée en continu. Dans d'autres applications, notamment dans les télécommunications, ce décalage en fréquence est associé à des modifications de l'intensité, de la phase, de la polarisation ou de la direction du faisceau laser. Dans toutes ces situations, cette action sur la lumière est pilotée soit par un signal électronique oscillant dont la fréquence vient s'ajouter à celle de l'onde laser dans le laser lui-même, soit grâce à un modulateur agissant sur le faisceau lumineux. Actuellement, la fréquence de cette modulation ne dépasse pas quelques gigahertz, en raison des limites intrinsèques aux systèmes électroniques qui la génèrent. Des physiciens de l'Institut des Molécules et des Matériaux du Mans (IMMM, CNRS/Univ. du Maine), en collaboration avec leurs collègues du laboratoire Structures, Propriétés et Modélisations des Solides (SPMS, CNRS/CentraleSupélec, Univ. Paris Saclay), du Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), du Physics and Materials Science Research Unit (Univ. du Luxembourg), du Service de Physique de l'Etat Condensé (SPEC, CNRS/CEA) et du Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine (LAUM, CNRS/Univ. du Maine), viennent de proposer et de réaliser un nouveau dispositif dans lequel l'oscillation qui module la lumière est créée optiquement à l'aide d'un laser femtoseconde, et non électriquement. Ce dispositif, qui permet de moduler l'intensité, la phase et la polarisation de la lumière, repousse la limite à des centaines de gigahertz. Concrètement, les chercheurs excitent des ondes acoustiques dans des matériaux ferroélectriques, tels que BiFeO₃ et LiNbO₃, au sein desquels les processus acousto-optiques sont particulièrement efficaces grâce à

leur grande biréfringence optique et à de forts coefficients photoélastiques. L'emploi de lasers femtosecondes pour générer un paquet d'ondes acoustiques cohérent a permis de montrer que cette modulation de la polarisation de la lumière peut être contrôlée à l'échelle de la picoseconde et sur des échelles submicrométriques. Ce travail est publié dans la revue *Nature Communications*.

Dans cette approche, les auteurs ont utilisé plusieurs cristaux biréfringents, tels que le LiNbO₃, le BiFeO₃ et la calcite (CaCO₃). Ces matériaux ont en effet la propriété de séparer spatialement les deux polarisations d'un faisceau lumineux. Les chercheurs ont étudié en détail l'interaction entre la lumière et les ondes acoustiques dans ces matériaux, tant pour produire des ondes acoustiques de fréquence choisie, que pour l'effet de ces ondes sur une impulsion laser les traversant. Ils ont notamment démontré la possibilité de transférer la lumière se propageant dans le mode de polarisation dit « ordinaire » vers le mode « extraordinaire » qui porte la seconde polarisation de la lumière et se propage dans une direction différente. Pour y parvenir, ils ont réalisé des expériences dans la configuration dite « pompe-sonde » avec des impulsions lumineuses ultracourtes. Un premier faisceau, le faisceau pompe, génère en surface du cristal un paquet d'ondes acoustiques, tandis qu'un second faisceau retardé dans le temps, le faisceau sonde, permet de suivre ce paquet d'ondes acoustiques lors de la propagation. Le point important a été de montrer que cette conversion de mode optique est optimale dans les matériaux ferroélectriques LiNbO₃ et BiFeO₃ pour certaines géométries, notamment dans le cas où l'axe polaire ferroélectrique est parallèle à la surface. Dans un premier temps, les chercheurs ont intégré rapidement cette nouvelle modulation acousto-optique ultrarapide (10-100 GHz) dans des dispositifs à base de LiNbO₃, matériau déjà très présent dans les modulateurs actuels. Dans un second temps, leurs travaux ont permis de révéler le potentiel optique de BiFeO₃, élargissant ainsi le champ d'applications de ce matériau lui aussi multiferroïque. Enfin, la modulation de polarisation de la lumière devant se produire sur un front d'onde acoustique doté d'une extension spatiale d'une dizaine de nanomètres, ces résultats offrent une voie prometteuse au développement de modulateurs acousto-optiques submicrométriques et par là, aux futures technologies de l'information et de la photonique rapide.



Principe de la diffusion Brillouin dans un système biréfringent où il est possible de convertir un mode « ordinaire (n_o) » en « extraordinaire (n_e) » lors de la collision phonon-photon.

En savoir plus

Ultrafast acousto-optic mode conversion in optically birefringent ferroelectrics

M. Lejman, G. Vaudel, I. C. Infante, I. Chaban, T. Pезeril, M. Edely, G. F. Nataf, M. Guennou, J. Kreisel, V. E. Gusev, B. Dkhil et P. Ruello

Nature Communications (2016), doi:10.1038/ncomms12345

Contacts chercheurs

Pascal Ruello, enseignant-chercheur à l'Université du Maine - IMMM
Brahim Dkhil, enseignant-chercheur à CentraleSupélec, Université Paris Saclay - SPMS
Vitaliy Gusev, enseignant-chercheur à l'Université du Maine - LAUM

Informations complémentaires

Institut des Molécules et des Matériaux du Mans (IMMM)
Structures, Propriétés et Modélisations des Solides (SPMS)
Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST)
Physics and Materials Science Research Unit
Service de Physique de l'Etat Condensé (SPEC)
Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine (LAUM)

Supra - bidimensionnel



Illustration : © Manda Conzague



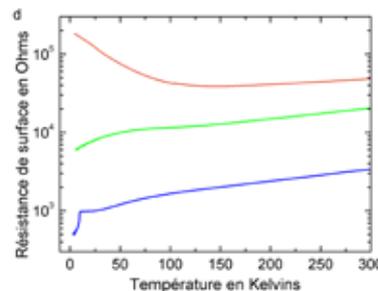
Transformer un semi-conducteur bidimensionnel en conducteur ou supraconducteur

Janvier 2016

Grâce à une nouvelle technique utilisant la mobilité des ions dans un substrat de verre, des physiciens ont modifié la densité électronique des couches ultraminces d'un semi-conducteur, le disulfure de molybdène. Placé sur le substrat, celui-ci peut être transformé en métal et en supraconducteur à basse température.

Les semi-conducteurs permettent de réaliser des transistors car il est possible de les faire passer d'un état isolant à un état conducteur par la seule application d'un champ électrique extérieur. Si la structure électronique du graphène ne permet pas de réaliser ce type de basculement, un autre matériau bidimensionnel se révèle être le candidat idéal : le disulfure de molybdène, aux propriétés semi-conductrices. Les techniques actuelles de dopage électrostatique ne permettent pas toutefois de créer des densités de charge assez élevées pour induire une transition isolant-conducteur. Une équipe de physiciens de l'IPMPC (UPMC/CNRS/MNHN/IRD) vient d'inventer une nouvelle technique de dopage électrostatique qui met en jeu de très forts champs électrostatiques au niveau d'un échantillon de matériau bidimensionnel placé sur un substrat de verre, provoquant des changements de phases électroniques. Ces chercheurs ont ainsi observé la transition du disulfure de molybdène dans un état conducteur et même, à basse température, dans un état supraconducteur. Cette technique ouvre la voie à la production de conducteurs transparents et à une nouvelle technologie d'électronique sur verre. Ce travail est publié dans la revue *Nature Communications*. Une demande de brevet a par ailleurs été déposée.

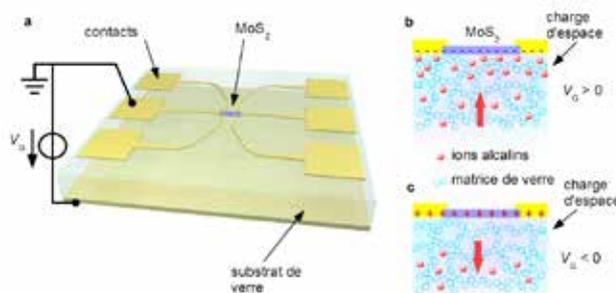
Pour créer un champ électrique très intense dans le disulfure de molybdène, les chercheurs ont eu l'idée clé d'utiliser des ions dans une matrice de verre plutôt que les électrons des plaques d'un condensateur, comme cela est le cas habituellement. A une température de quelques dizaines de degrés au-



Les changements de phase peuvent être suivis en mesurant la résistance de l'échantillon en fonction de la température : la courbe rouge, où la résistance augmente quand la température diminue, présente un caractère semi-conducteur; la courbe verte avec la tendance inverse présente un caractère métallique; la courbe bleue, où il y a une diminution abrupte à très basse température, présente un caractère supraconducteur.

dessus de la température ambiante, les ions alcalins présents dans la plupart des verres communs deviennent mobiles et peuvent se déplacer sous l'effet d'un potentiel extérieur. Ce déplacement, de l'ordre de quelques nanomètres seulement, brise la neutralité électrique à la surface du substrat en créant une charge d'espace qui peut être gelée rapidement à la température ambiante. Dans leur expérience, les chercheurs ont déposé des échantillons de 2 à 11 nanomètres d'épaisseur de disulfure de molybdène sur des substrats de verre avec des contacts électriques permettant de mesurer leurs propriétés électroniques. Ils ont ensuite créé une charge d'espace à la surface du substrat de verre sous l'échantillon par la méthode décrite ci-dessus. La charge d'espace ainsi créée peut être jusqu'à deux ordres de grandeur plus forte que dans une configuration de condensateur, provoquant des changements dans les propriétés électroniques de l'échantillon de disulfure de molybdène.

Une transition vers un état métallique a été suivie par une transition supraconductrice à une température de 10 degrés Kelvin dans l'échantillon de 11 nanomètres et de 4 degrés Kelvin dans l'échantillon de 2 nanomètres. Ne comportant aucun risque de dégradation de l'échantillon, cette technique pourra être utilisée pour explorer les propriétés électroniques d'autres matériaux bidimensionnels.



(a) L'échantillon semi-conducteur est placé sur un substrat de verre et muni de contacts électriques. Un potentiel électrique peut être appliqué entre l'échantillon et la surface inférieure du substrat chauffé pour provoquer le déplacement des ions alcalins rendus mobiles par la température. Ce déplacement à la surface du substrat provoque soit un surcroît d'électrons dans l'échantillon bidimensionnel (voir schéma b), soit un déficit (voir schéma c), soit éventuellement un changement de phase électronique (voir schéma d).

En savoir plus

Onset of two-dimensional superconductivity in space charge doped few-layer molybdenum disulfide, J. Biscaras¹, Z. Chen¹, A. Paradisi¹ et A. Shukla¹, *Nature Communications* (2015)

Contact chercheur

Abhay Shukla, Professeur de l'Université Pierre et Marie Curie - Paris 6

Informations complémentaires

¹ Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie (IPMPC)



Institut de physique

Actualités scientifiques

Un état magnétique quantique géant dans un supraconducteur bidimensionnel

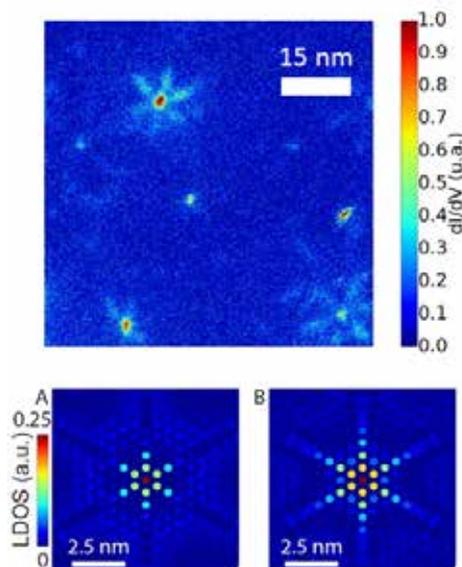
Mars 2016

Des physiciens viennent de montrer que l'état quantique engendré par un atome magnétique plongé dans un matériau supraconducteur est étendu de plus d'un ordre de grandeur lorsque le supraconducteur est bidimensionnel que lorsqu'il est à trois dimensions.

Il y a une cinquantaine d'années, les physiciens L. Yu, H. Shiba et A. Rusinov ont prédit indépendamment la formation d'états quantiques localisés autour d'un atome magnétique plongé dans un matériau supraconducteur. L'extension minimale de ces états, une fraction de nanomètre, interdit à la fois une mesure précise de leur structure spatiale et leur utilisation pour manipuler les quasi-particules de Majorana, pressenties pour servir de bits quantiques. Des physiciens de l'institut des nanosciences de Paris (CNRS/UPMC), du Laboratoire de physique des solides (CNRS/Univ. Paris-Sud) et de l'institut des matériaux Jean Rouxel de Nantes (CNRS/Univ. Nantes), viennent pour la première fois d'observer des états quantiques produits par des atomes magnétiques individuels dans un supraconducteur bidimensionnel et d'en mesurer la taille et la structure par effet tunnel. L'extension spatiale de ces états est environ 20 fois plus importante que ce qui avait précédemment observé dans des

systèmes tridimensionnels. Une modélisation théorique a permis d'interpréter ce phénomène quantitativement aussi bien du point de vue de l'extension spatiale que de la structure oscillante ou de la forme étoilée de la fonction d'onde. Ce travail vient d'être publié dans la revue *Nature Physics*.

Pour obtenir ces résultats, les physiciens ont utilisé des cristaux de diséléniure qui deviennent supraconducteurs en dessous de 7 Kelvin et dont la structure lamellaire induit un comportement quasi bidimensionnel. La croissance de ces monocristaux a été réalisée en ajoutant un faible pourcentage d'impuretés de fer conduisant à l'inclusion de défauts magnétiques répartis de manière homogène dans les échantillons. À l'aide d'un microscope à effet tunnel, les physiciens ont mesuré la dépendance spatiale du courant tunnel et reconstitué la distribution des états électroniques. Ils ont ainsi observé la présence d'états étendus et de forme étoilée et isolés les uns des autres. Pressentant qu'il s'agissait d'états de Yu-Shiba-Rusinov ils ont alors mené des investigations théoriques qui ont tout d'abord nécessité d'étendre à la géométrie bidimensionnelle les travaux antérieurs. Ils ont ainsi compris le lien entre dimensionnalité et extension spatiale ainsi que le rôle des différents paramètres de couplage dans la structure fine de ces états. Ils ont de plus effectué des calculs de liaisons fortes permettant de démontrer l'impact de la géométrie de la structure de la surface de bande du système dans la forme de ces états. Ces résultats ouvrent la voie vers une nouvelle approche pour coupler des impuretés magnétiques distantes et produire des quasi-particules de Majorana.



(haut) Carte spectroscopique contenant plusieurs impuretés magnétiques situées à différentes profondeurs dans le matériau. (bas) Stimulation liaison forte des états de Yu-Shiba-Rusinov

En savoir plus

[Coherent long-range magnetic bound states in a superconductor](#), G. C. Ménard¹, S. Guissard², C. Brun¹, S. Pons^{1,3}, V. S. Stolyarov^{1,4}, F. Debontridder¹, M. V. Leclerc¹, E. Janod⁵, L. Cario⁵, D. Roditchev^{1,3}, P. Simon² et T. Cren¹, *Nature Physics* (2015)

- Retrouvez l'article sur la base d'archives ouvertes [arXiv](#)

Contacts chercheur

Tristan Cren, chargé de recherche CNRS

Pascal Simon, enseignant-chercheur à l'Université Paris-Sud

Informations complémentaires

- ¹ Institut des Nanosciences de Paris (INSP)
- ² Laboratoire de Physique des Solides (LPS)
- ³ Laboratoire de physique et d'étude des matériaux (LPEM)
- ⁴ Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT)
- ⁵ Institut des matériaux de Nantes Jean Rouxel (IMN)



www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16
T 01 44 96 42 53
inp.com@cnrs.fr
www.cnrs.fr/inp



Institut de physique

Actualités scientifiques

Un nouveau pas vers la compréhension de la supraconductivité à haute température dans les oxydes de cuivre

Juin 2016

En étudiant des cuprates supraconducteurs à haute température soumis à un champ magnétique intense, des physiciens viennent de mettre en évidence un nouvel effet du dopage sur la densité de porteurs de charge dans l'état normal. Ce phénomène pourrait être l'une des clés de l'apparition de la supraconductivité à haute température.

Découverte il y a trente ans, la supraconductivité à haute température, c'est-à-dire à des températures supérieures à la température de l'azote liquide (77 K, soit -196 °C), reste largement incomprise. Un élément clef dans l'apparition de ce phénomène est l'évolution de la structure électronique en fonction de la température et du taux de dopage des matériaux en question. Jusqu'à présent, l'apparition de la supraconductivité interdisait aux expérimentateurs toute investigation dans ce domaine en masquant les détails des propriétés des électrons. Grâce à un nouveau dispositif expérimental produisant un champ magnétique de 90 teslas (bien plus important que lors des études précédentes), des physiciens du LNCMI (CNRS/INSA Toulouse/Univ. Toulouse 3/Univ. Grenoble Alpes) et de l'Université de Sherbrooke (Canada) ont supprimé la supraconductivité à basse température dans le cuprate supraconducteur YBaCuO et ont ainsi mesuré l'évolution du nombre de porteurs de charge en fonction de la température et du taux de dopage. Ils ont mis en évidence

un changement radical de la densité électronique associé à l'apparition d'un comportement appelé pseudogap. Ce nouveau fait majeur sur le pseudogap laisse penser qu'une compréhension microscopique de ce phénomène pourrait permettre d'élucider le comportement énigmatique des électrons dans les cuprates supraconducteurs. Ce travail est publié dans la revue *Nature*.

Les physiciens ont mesuré la dépendance en température de l'effet Hall jusqu'à 90 teslas dans plusieurs échantillons de YBaCuO, couvrant une gamme de dopage entre 0.16 et 0.205. Ces estimations consistent à mesurer une tension transverse à un courant électrique en présence d'un champ magnétique. Près du zéro absolu, elles permettent de déduire directement le nombre de porteurs de charge. Ces mesures représentent un véritable tour de force car la tension Hall, de l'ordre de quelques microvolts, est très difficile à mesurer dans ces conditions extrêmes de champ magnétique. Le LNCMI-Toulouse est un laboratoire unique dans lequel de telles mesures peuvent être réalisées. Celles-ci ont permis de dissocier l'impact relatif de divers phénomènes en fonction du taux de dopage, dont les ondes de densité de charge et le « pseudogap ». Ce dernier phénomène constitue une énigme depuis plus de 20 ans et pourrait bien être à l'origine de la supraconductivité à haute température. Cette étude combinée à des résultats antérieurs montre que dans la gamme de dopage entre 0.08 et 0.16, l'effet Hall est négatif, ce qui est une signature directe des ondes de charge. En revanche, pour des dopages supérieurs à 0.16, c'est la phase pseudogap qui domine et il est possible de l'étudier directement. En dessous de 0.19 – taux de dopage précis où la phase pseudogap apparaît – les chercheurs ont montré que le nombre de porteurs diminue de manière très importante, ce qui se traduit expérimentalement par une augmentation d'un facteur 6 de la résistance de Hall.



© Nantia Conzague

Photo prise sous microscope d'un mono-cristal de YBaCuO sur lequel sont collés cinq contacts électriques permettant d'effectuer des mesures d'effet Hall.

En savoir plus

[Change of carrier density at the pseudogap critical point of a cuprate superconductor,](#)

S. Badoux, W. Tabis, F. Laliberté, G. Grissonnanche, B. Vignolle, D. Vignolles, J. Béard, D. A. Bonn, W. N. Hardy, R. Liang, N. Doiron-Leyraud, L. Taillefer et Cyril Proust, *Nature* (2016)

Contact chercheur

Cyril Proust, directeur de recherche CNRS

Informations complémentaires

Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses (LNCMI)

cnrs

www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16
T 01 44 96 42 53
inp.com@cnrs.fr
www.cnrs.fr/inp

Matériaux - structure

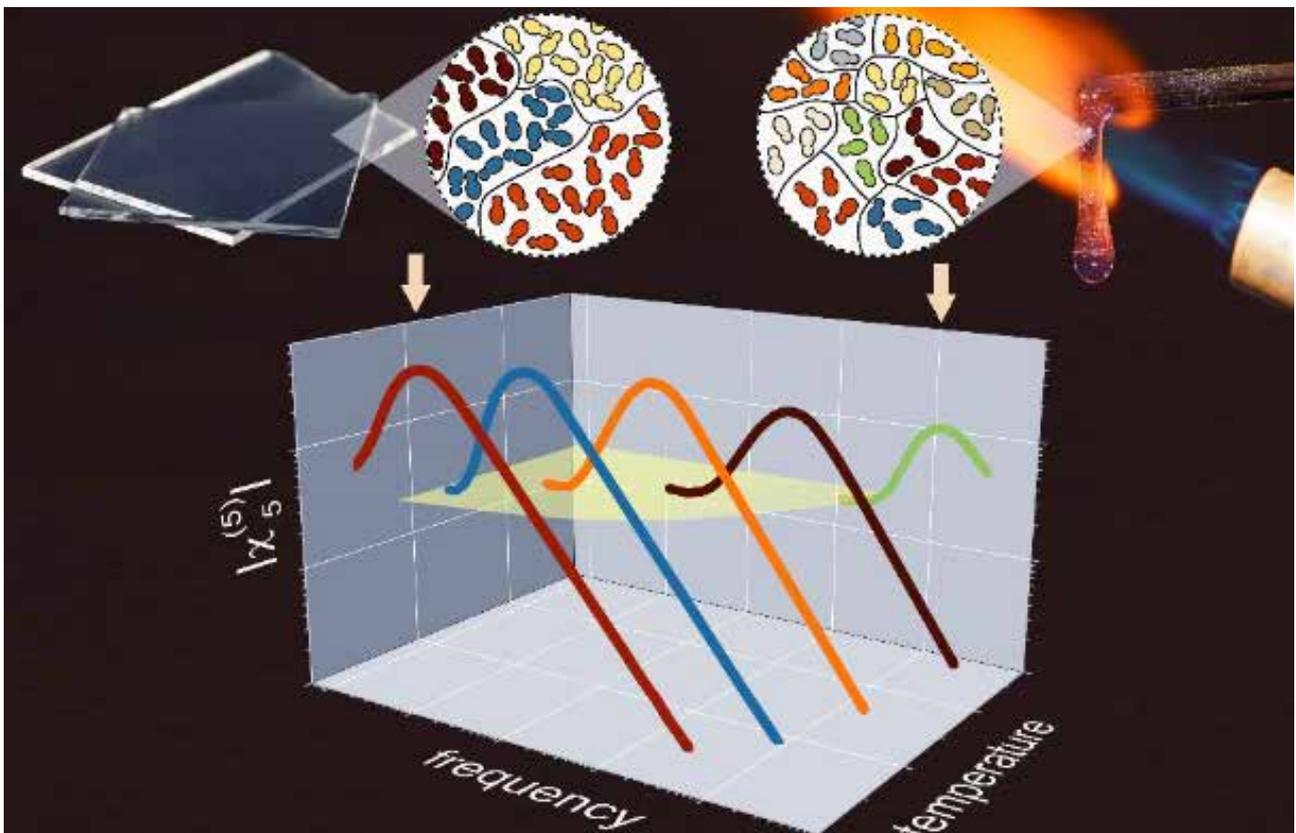


Illustration : © Experimental Physics V, University of Augsburg



Institut de physique

Actualités scientifiques

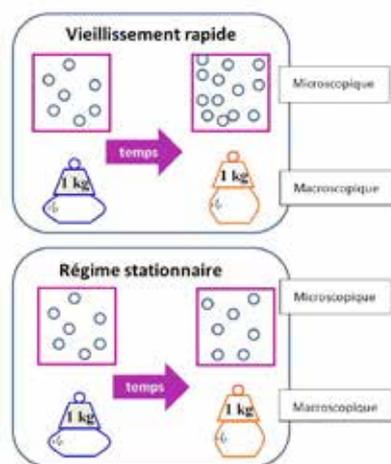
Deux mécanismes sont responsables du vieillissement des verres métalliques

Mars 2016

Deux physiciennes viennent pour la première fois d'expliquer l'origine des différents régimes de vieillissement à l'échelle atomique dans des verres métalliques en démontrant l'existence de deux mécanismes : l'un, rapide, qui homogénéise la densité du matériau, et l'autre, qui réarrange les atomes afin de réduire le désordre dans le verre.

Élaborés en solidifiant un alliage liquide par un refroidissement très rapide, les verres métalliques sont bien plus élastiques et mécaniquement résistants que leurs homologues cristallins, produits lors d'une solidification lente. Leur utilisation reste toutefois limitée car leur structure, qui ne correspond pas à une situation d'équilibre, est sujette au vieillissement. Cela se traduit par une dégradation progressive de leurs propriétés mécaniques. A l'échelle atomique, on observe une stabilisation rapide de la relaxation structurale du verre. A l'échelle macroscopique en revanche, les propriétés mécaniques continuent à évoluer. Deux physiciennes de l'ILM (CNRS/Univ. Lyon 1) et de l'ESRF-The European Synchrotron viennent d'expliquer cet apparent paradoxe en démontrant la co-existence de deux mécanismes à l'échelle atomique. Le premier, dominant dans les premiers instants, est associé à des déplacements d'atomes qui homogénéisent la densité atomique et suppriment les contraintes mécaniques résiduelles. Le second, persistant sur le long terme, correspond à des réorganisations qui augmentent l'ordre du matériau à moyenne échelle. Pour obtenir ce résultat, les physiciennes ont combiné une étude de l'évolution structurale au niveau atomique par diffraction des rayons X et l'analyse de la dynamique atomique par spectroscopie de corrélation des photons des rayons X. Ce travail est publié dans la revue *Nature Communications*.

Pour ce travail, les physiciennes ont étudié des échantillons d'un verre métallique à base de palladium ($\text{Pd}_{77}\text{Si}_{16.5}\text{Cu}_{6.5}$) élaboré en projetant l'alliage liquide fondu sur un cylindre de cuivre refroidi tournant à grande vitesse. A une vitesse dépassant les 10 000 degrés par seconde, le refroidissement gèle la position des atomes avant qu'ils ne se réorganisent en cristal et conduit à la formation d'un ruban de verre métallique épais de 30 micromètres. A l'aide des instruments de l'ESRF, les physiciennes ont mesuré l'évolution au cours du temps de la relaxation due aux réarrangements atomiques locaux à l'échelle atomique ainsi que l'évolution de la structure de ce composé. Les mesures ont été répétées à six températures différentes s'échelonnant entre l'ambiante et 240 °C, soit bien en-dessous de la température de transition vitreuse à laquelle le verre, solide, se ramollit pour prendre une consistance caoutchouteuse (340 °C). Cela a permis aux chercheuses de montrer l'existence de deux mécanismes de réarrangements atomiques. Le premier mécanisme est piloté par les contraintes mécaniques internes dues à la trempe rapide du verre et conduit à une homogénéisation de la densité atomique locale. Ce processus est très efficace pour réduire les contraintes mécaniques. Il n'est donc important qu'aux tous premiers instants, lorsque les contraintes sont encore importantes. Une fois la densité homogénéisée, un second mécanisme prend le relais : des réarrangements atomiques ordonnent les atomes à moyenne échelle. C'est le début d'une évolution très progressive de la structure aléatoire du verre vers la structure plus ordonnée d'un cristal. En réduisant progressivement le désordre dans le verre, ce deuxième mécanisme est responsable du fait que le vieillissement à l'échelle macroscopique continue. Il pourrait même s'accompagner d'une transition du matériau de l'état ductile (se déforme sans se casser) à l'état fragile (casse avant de se déformer). Quand ce mécanisme devient plus important, il correspond aux premières signatures de cristallisation à l'échelle microscopique, qui se manifestent à des températures beaucoup plus basses que la température de transition vitreuse – ou cristallisation – mesurées par calorimétrie.



Les deux régimes de vieillissement microscopique expliqués. (haut) le vieillissement rapide : les propriétés macroscopiques changent (durcissement) ainsi que les configurations microscopiques, qui portent à une augmentation de la densité. (bas) le régime stationnaire : les propriétés macroscopiques changent encore tandis que les réarrangements atomiques sont tels que la densité moyenne ne change plus.

En savoir plus

Unveiling the structural arrangements responsible for the atomic dynamics in metallic glasses under physical aging,

V.M. Giordano¹, B. Ruta², *Nature Communications* (2016)

DOI:10.1038/ncomms10344

Contact chercheur

Valentina Giordano, chargée de recherche CNRS

Informations complémentaires

¹ Institut Lumière Matière (ILM)

² ESRF-The European Synchrotron



www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie

3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16

T 01 44 96 42 53

inp.com@cnrs.fr

www.cnrs.fr/inp



Institut de physique

Alertes et communiqués de presse du CNRS

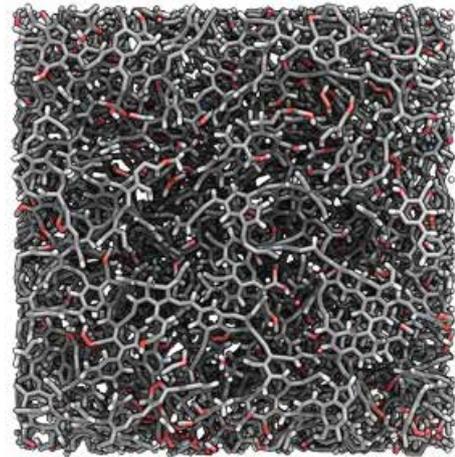
Des modèles moléculaires pour mieux comprendre les gaz de schiste

février 2016

L'exploitation des gaz de schiste suscite bien des convoitises, mais la méthode d'extraction par fracturation hydraulique inquiète. Afin de développer des techniques moins dommageables pour la planète, les chercheurs ont besoin de modèles et de simulations validés par l'expérience et capables de restituer la complexité de ces structures géologiques. Dans cette optique, des modèles moléculaires de kérogène, dont la dégradation engendre le gaz de schiste, ont été développés par des chercheurs de l'Unité mixte internationale CNRS/MIT « Multi-Scale Materials Science for Energy and Environment » et de l'Institut de sciences des matériaux de Mulhouse (CNRS/Université de Haute-Alsace). De tels modèles, établis à partir des propriétés du kérogène déterminées expérimentalement, permettent de sonder le comportement de cette matière organique. Ces travaux sont publiés sur le site de la revue *Nature Materials* le 1^{er} février 2016. [...]

Unité mixte internationale CNRS/MIT

contact chercheur : Benoît Coasne, benoit.coasne@ujf-grenoble.fr



Modèle moléculaire d'un échantillon de kérogène Marcellus étudié (la phase organique constitue la source d'hydrocarbures dans les gaz de schiste). Les atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène sont représentés en gris, blanc et rouge, respectivement. L'image correspond à un échantillon de 5×5 nm. Quatre échantillons de maturités différentes, c'est-à-dire avec des temps et des conditions de formation différents, ont été considérés dans cette étude. © Colin Bousige

Des cellules solaires qui s'auto-réparent dans le noir

mai 2016

Une collaboration franco-américaine, incluant deux chercheurs rennais du CNRS et de l'INSA Rennes, vient de mettre en évidence que les pérovskites s'auto-réparent très rapidement après diminution de leurs performances sous rayonnement solaire. [...]

Institut des sciences chimiques de Rennes



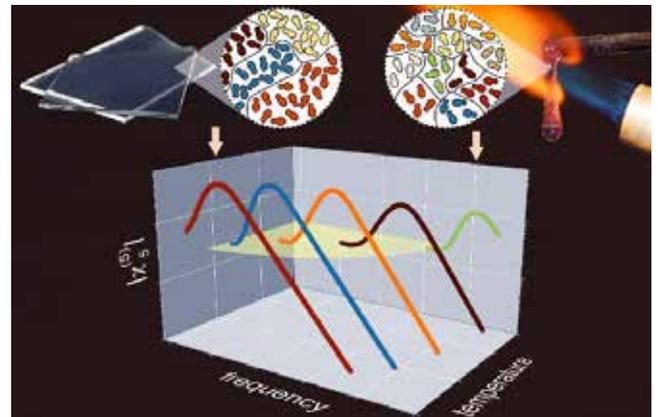
(gauche) Visualisation de joints de grains au sein d'une pérovskite hybride par microscopie optique polarisée. (droite) Vue en coupe par microscopie électronique à balayage d'un empilement multicouches au sein d'une cellule pérovskite. © Los Alamos National Laboratory

L'existence d'un ordre dans les verres enfin démontrée

juin 2016

Les verres sont-ils de « vrais » solides ou des liquides hyper-visqueux ? Une collaboration scientifique du Service de physique de l'état condensé (CEA-CNRS), de l'Institut de physique théorique (CEA-CNRS), du laboratoire de physique statistique de l'ENS (CNRS, ENS-PSL, Paris-Descartes-SPC, UPMC-SU), de la société CFM et de l'Université d'Augsbourg (Allemagne) vient de trancher cette très ancienne controverse. Les chercheurs ont expérimentalement mis en évidence, pour la première fois, une forme subtile d'ordre correspondant à une optimisation collective de l'énergie, alors que la structure du matériau reste spatialement désordonnée (amorphe). Ces résultats sont publiés dans la revue *Science* le 10 juin 2016.

Service de physique de l'état condensé, Institut de physique théorique, Laboratoire de physique statistique de l'ENS



La réponse d'un matériau vitreux à un champ électrique a été mesurée en fonction de la température et de la fréquence du champ. Quand le matériau passe de l'état liquide (en haut à droite) à l'état de verre (en haut à gauche), « l'ordre amorphe » s'instaure sur des tailles de plus en plus grandes. Cette évolution prouve qu'une transition pilote le comportement du système. Elle est en parfaite cohérence avec les prédictions théoriques. © Experimental Physics V, University of Augsburg

Liquides - matière molle

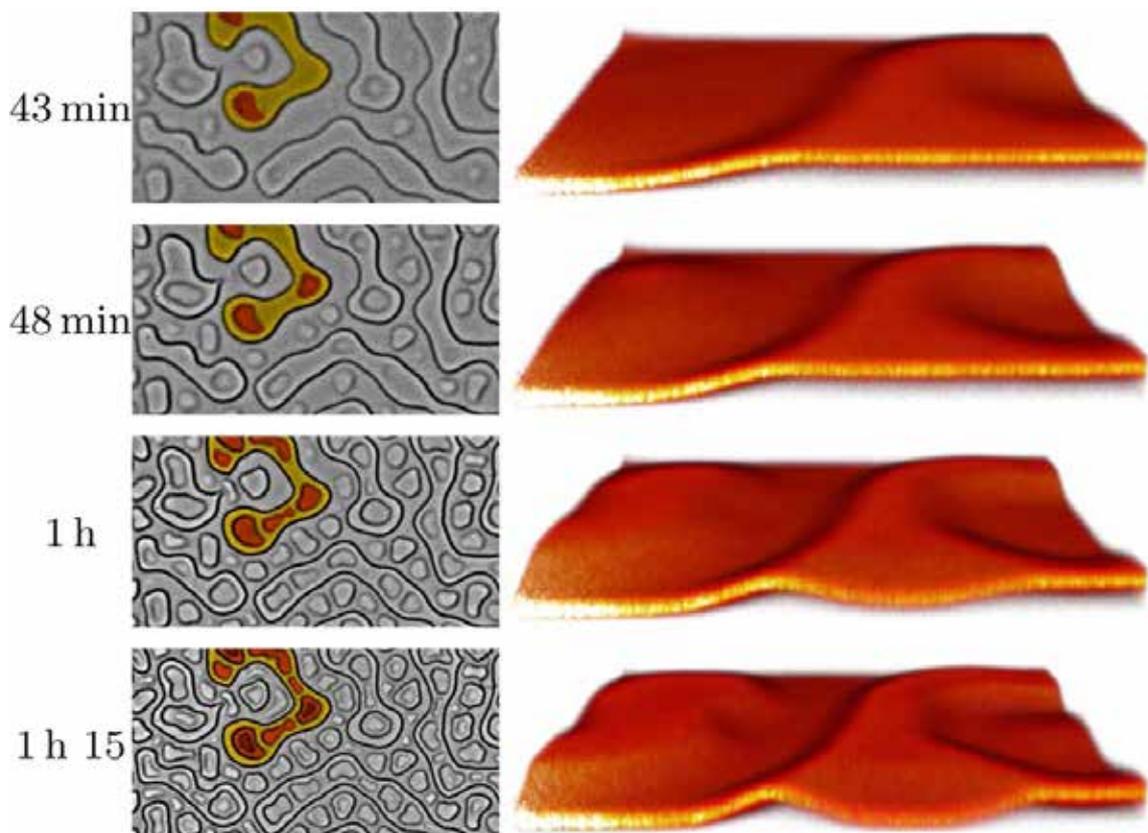


Illustration : © Science Advanced

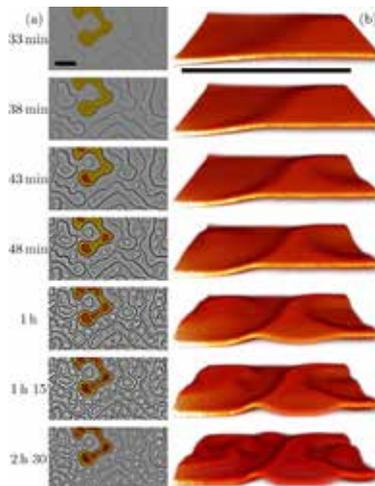


Les rides hiérarchiques du yaourt

Janvier 2016

En étudiant la croissance d'un biofilm de nature semblable au yaourt, des physiciens viennent de démontrer expérimentalement l'importance des forces de viscosité dans la formation de certaines rides et de mettre en évidence un nouveau mécanisme de contrôle associé à un écoulement de fluide au travers du matériau poreux formant les rides.

Les plis d'un tapis, tout comme les rides d'une peau de pomme séchée, sont dus à la compétition entre un excès de matière et une contrainte qui retient cette matière en surplus. Ces deux dernières décennies, de nombreux travaux ont permis de comprendre la physique des plis et ainsi de prévoir et/ou contrôler la nature et la géométrie des plis dans de nombreux systèmes. Toutefois, ces travaux n'ont considéré que des contraintes « statiques » s'exerçant perpendiculairement à la surface, telles la gravité qui ramène le tapis vers le sol ou l'élasticité de la chair de pomme qui retient la peau. Dans certaines situations, des rides apparaissent alors que ce type de force est pourtant absent, par exemple, lors de la croissance des tissus minces pendant l'embryogenèse. Il a récemment été suggéré que ce sont les forces de viscosité qui contrôleraient la nature des rides lors de la phase de croissance. À l'aide d'expériences sur des biogels, des physiciens du Laboratoire de Physique de l'ENS Lyon (CNRS/ENS Lyon/Univ. Lyon 1) et du MADIREL viennent de confirmer cette hypothèse et de découvrir un nouveau mécanisme pouvant prendre le dessus : l'existence d'un écoulement à travers le gel poreux. Ils ont en outre montré que ce mécanisme peut donner naissance à de nouvelles rides apparaissant à l'intérieur des rides déjà existantes, rappelant un effet de poupées gigognes. Ce travail est publié dans la revue *Science Advances*.



Dynamique de formation de motifs dans un film confiné de gel de la caséine. a) Vue de dessus, les générations successives de rides sont mises en évidence par les colorisations du jaune au rouge. b) Reconstitution 3D par microscopie confocale du gel. La barre d'échelle mesure 1 mm.

Pour ce travail, les physiciens se sont inspirés de la fabrication du yaourt pour créer des films minces de biogel poreux et immergés dans un milieu visqueux de densité voisine. Dans une cellule composée d'une lame et d'une lamelle de microscope séparées de 100 microns, ils enferment une solution composée d'une protéine du lait, la caséine, et d'un acide retard provoquant une acidification progressive du milieu. Cette acidification provoque l'agglomération des caséines pour former un gel. Dès que ce gel a emplit la cellule, il se détache des parois supérieures et inférieures et se contracte en quelques minutes en un mince film élastique et poreux, épais de quelques dizaines de microns, et séparé des plaques de verre par des couches d'eau. L'acidification se poursuivant, le film de gel regonfle au bout de quelques dizaines de minutes, développe un excès de surface et plisse. La conformation du film de gel en trois dimensions est reconstruite par microscopie confocale, une technique d'imagerie qui donne accès à l'épaisseur du gel, à sa position entre les deux plaques en tout point et donc à sa vitesse verticale au cours du temps. En analysant la dynamique de la formation des plis et en la comparant à un modèle théorique, l'équipe lyonnaise a pu montrer que la longueur d'onde peut être sélectionnée soit par l'effet des écoulements de part et d'autre du biogel, soit par un mécanisme nouveau lié à l'écoulement d'eau à travers le gel poreux.

De plus, dans cette géométrie confinée, le phénomène de plissement se poursuit de telle sorte que de nouvelles rides apparaissent au sein des précédentes et ce, dès que l'amplitude du plissement atteint la hauteur de confinement, rappelant ainsi des poupées gigognes. Cette étude révèle donc une méthode pour obtenir des motifs de plis concentriques originaux tout en mettant en évidence des mécanismes de sélection dynamique de longueur d'onde susceptibles également d'être à l'œuvre lors de la morphogenèse de l'embryon.

En savoir plus

[Hierarchical wrinkling in a confined permeable biogel](#), M. Leocmach^{1,2}, M. Nespoulous^{1,3}, S. Manneville¹ et T. Gibaud¹, *Science Advances* (2015)

Contact chercheur

Thomas Gibaud, chargé de recherche CNRS

Informations complémentaires

¹ Laboratoire de physique, ENS de Lyon

² Laboratoire matériaux divisés, interfaces, réactivité, électrochimie (MADIREL)

³ Liquides aux Interfaces, Institut Lumière Matière



Institut de physique

Actualités scientifiques

Stabiliser un film mince liquide sans savon

Janvier 2016

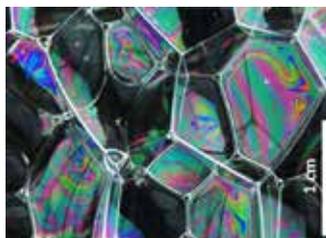
Des physicien-ne-s viennent de montrer qu'il est possible d'obtenir et de stabiliser un film liquide mince en utilisant non pas de l'eau additionnée d'un agent tensioactif comme le savon, mais un polymère liquide. La durée de vie exceptionnelle de ces films – plus d'une journée – pourrait s'expliquer par l'observation d'une grande distance séparant deux molécules au sein du liquide, qui fixe une épaisseur minimale pour le film et l'empêche de se percer.

Pour réaliser un film liquide stable, la méthode la plus simple consiste à ajouter un tensioactif tel que le savon. Celui-ci permet à la fois de réduire les forces de capillarité qui ont tendance à amincir le film et d'augmenter la répulsion entre les deux surfaces du film. On peut également retarder l'éclatement du film en augmentant la viscosité du liquide. Des physiciens du laboratoire de physique des solides (CNRS/Univ. Paris Sud) viennent de découvrir une troisième voie en réalisant des films liquides minces et libres stables pendant plusieurs dizaines d'heures avec un polymère fondu. Ils ont montré que ces films finissent pas s'amincir par couches successives dont l'épaisseur est comparable à la distance intermoléculaire caractéristique du liquide. Le film atteint une épaisseur de quelques molécules, qui pourrait être suffisamment grande pour diminuer la propension du film à se percer. Ce travail, publié dans la revue *ACS Macro Letters*, ouvre la voie à de nouveaux développements sur la réalisation de films minces, de mousses et d'émulsions dénués d'agent stabilisant.

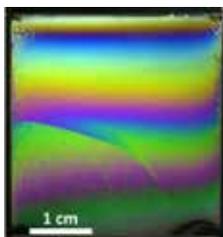
Pour ce travail, les physiciens ont utilisé comme liquide des polymères

« en peigne » fondus. Chaque molécule de ce liquide est composée d'une chaîne linéaire principale comprenant une certaine de monomères sur lesquels se branchent des chaînes latérales chimiquement différentes et plus courtes avec seulement une dizaine d'unités élémentaires chacune. En plongeant un cadre vertical dans ce fluide puis en le ressortant, les chercheurs ont obtenu des films minces carrés d'environ 10 cm², épais d'un peu moins de 500 nanomètres et stables durant plus de 40 heures. Ils ont mesuré les variations de l'épaisseur de ce film en fonction de la hauteur et au cours du temps. La viscosité du liquide dans le film déduite de ces mesures s'avère plus de mille fois plus grande que la viscosité qu'ils avaient mesurée pour un grand volume de liquide. Comprendre la stabilité du film demande donc de s'intéresser au fait d'y emprisonner les polymères. Les physiciens ont alors remarqué que les films, en dessous d'une certaine épaisseur, ne s'amincissent plus continûment, mais par couches successives, toutes d'épaisseur identique. En étudiant la diffraction des rayons X par ce liquide polymérique au Synchrotron « Soleil », les scientifiques ont relevé la présence d'une longueur caractéristique corrélée à la taille des molécules et identique à la hauteur des couches mesurées lorsque son épaisseur devient comparable à la taille des molécules. Le film ne pourrait alors pas atteindre l'épaisseur critique où il va se percer.

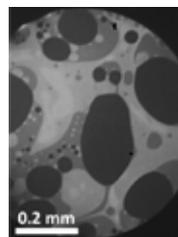
Un tel système pourrait s'avérer potentiellement très résistant à l'amincissement imposé et produire ainsi un effet similaire aux tensioactifs. Néanmoins, les chercheurs poursuivent leurs travaux afin de comprendre les mécanismes précis qui contrôlent la stabilité de ces films. Ils espèrent notamment établir un cadre général pour concevoir d'autres molécules chimiquement différentes, mais aux propriétés stabilisantes identiques.



MOUSSE



FILM VERTICAL



FILM HORIZONTAL

En savoir plus

Stable freestanding thin films of copolymer melts far from the glass transition, T. Gaillard, C. Poulard, T. Voisin, C. Honoré, P. Davidson, W. Drenckhan et M. Roché, *ACS Macro Letters* (2015)

Contact chercheur

Wiebke Drenckhan, chargée de recherche CNRS

Matthieu Roché, chargé de recherche CNRS

Informations complémentaires

Laboratoire de physique des solides (LPS)

cnrs

www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie

3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16

T 01 44 96 42 53

inp.com@cnrs.fr

www.cnrs.fr/inp



Institut de physique

Actualités scientifiques

Comment une avalanche granulaire érode-t-elle les sols ?

Avril 2016

Des physiciens ont montré que l'érosion d'un sol par un écoulement granulaire dense peut aboutir à la formation de cascades. Ce phénomène a permis de mettre en évidence le rôle de l'inertie des grains dans ces processus d'érosion.

Dans un éboulement de terrain, l'écoulement d'un mélange dense de blocs de pierre, de cailloux et de grains provoque une érosion importante. Toutefois, contrairement à l'érosion par ruissellement qui provoque cascades, ravines gorges ou bassins, ce phénomène est encore mal compris car l'essentiel des travaux sur le sujet concerne l'écoulement granulaire lui-même, et non pas son effet sur le sol sous-jacent. En s'attaquant à ce problème, des physiciens du laboratoire Surface du Verre et Interfaces (CNRS/Saint-Gobain) viennent de mettre expérimentalement en évidence une instabilité dont l'analyse leur a permis de révéler l'origine des mécanismes de l'érosion. Dans des conditions de haute vitesse et forte pente, au lieu de creuser un lit régulier, les grains façonnent une succession de cascades et de marches dans le sol, analogue granulaire des cascades et bassins torrentiels qui agrémentent les promenades en montagne. La modélisation de ces mesures a mis en évidence le rôle premier de la force d'impact des grains libres qui dévalent la pente dans les phénomènes d'érosion par des écoulements granulaires denses. Ces résultats sont publiés dans la revue *Physical Review Letters*.

Pour l'écoulement et pour le sol, les physiciens ont utilisé comme matériau granulaire un mélange inhomogène de billes de verre de diamètre compris entre 0,2 mm et 0,4 mm, confiné entre deux plaques de verre distantes d'environ un centimètre. Les billes de l'écoulement sont sèches, tandis que celles du sol sont humides. Ainsi, les ponts d'eau qui relient les billes entre elles

jouent le rôle de colle, de la même manière que dans les châteaux de sable. L'ensemble est incliné et alimenté à une extrémité par un flux régulier de billes afin de provoquer un écoulement. Pour des inclinaisons inférieures à 30 degrés, l'écoulement grignote progressivement la surface humide en la laissant parallèle à elle-même. En revanche, lorsque la vitesse des grains augmente, pilotée par la pente et le débit de grains, des marches d'une dizaine de millimètres de haut se développent. Cette instabilité est due à deux phénomènes : le décalage spatial entre les points de pente maximum du sol et la croissance de la vitesse d'érosion avec la vitesse des grains. Il en résulte une érosion accentuée sur la face amont relevée d'une bosse et moindre au sommet de celle-ci, conduisant à sa croissance et, au final, l'apparition d'une succession de cascades séparées par des plateaux, de pente beaucoup plus faible, identique à la pente d'équilibre d'un écoulement sur un tas sec. Comme pour une cascade de torrent, la face abrupte continue de perdre des grains et l'érosion fait reculer les cascades vers l'amont de l'écoulement. La mesure de l'évolution de la hauteur des marches au cours du temps permet de remonter aux mécanismes d'érosion et de montrer que l'échelle de force pertinente pour l'érosion est la force d'impact des grains, et non la force de friction entre l'écoulement et le sol compact. En incluant cette force au modèle habituel décrivant les écoulements granulaires secs, les chercheurs ont retrouvé numériquement l'apparition de l'instabilité et ses caractéristiques. En outre, les physiciens ont montré que le seuil d'instabilité est un nombre de Froude critique (comme pour les rivières). Ce nombre sans dimension compare la vitesse de l'écoulement à la vitesse des ondes de gravité dans ce dernier. Lorsque ces vitesses sont plus lentes que la vitesse des grains, l'écoulement est dit supercritique et n'est plus influencé par les perturbations avalées du fond : d'une part l'écoulement ne ralentit plus à l'approche d'une bosse et, d'autre part, il met du temps à accélérer de nouveau proche du sommet. Ces conditions impliquent une érosion non uniforme qui fait croître les perturbations de hauteur.



Évolution de la morphologie du tas humide de billes sous l'effet de l'érosion de l'écoulement des grains secs. Superposition d'images acquises régulièrement et colorées en post-traitement. © G. Lefebvre et P. Jop, SVI, CNRS/Saint-Gobain

En savoir plus

[Interfacial Instability during Granular Erosion](#),
Gautier Lefebvre, Aymeric Merceron et Pierre Jop,
Physical Review Letters (2016)

Contact chercheur

Pierre Jop, chargé de recherche CNRS

Informations complémentaires

Surface du Verre et Interfaces (SVI)

cnrs

www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16
T 01 44 96 42 53
inp.com@cnrs.fr
www.cnrs.fr/inp



Institut de physique

Alertes et communiqués de presse du CNRS

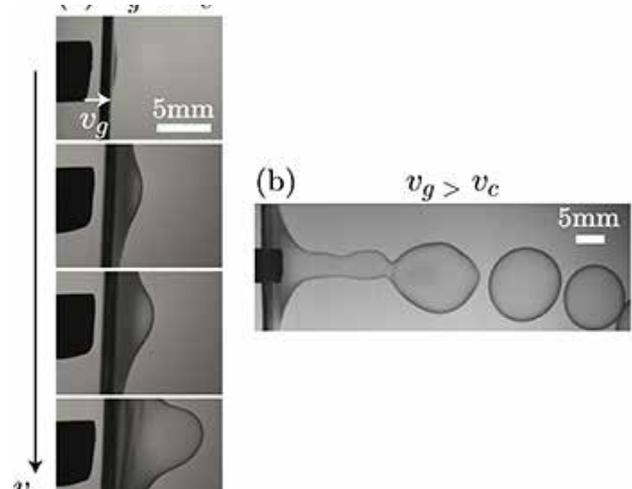
Une machine expérimentale perce les secrets des bulles de savon

février 2016

Il arrive parfois que des phénomènes qui sembleraient, a priori, bien connus gardent une forte part de mystère. La manière dont se forment les bulles de savon n'avait ainsi jamais fait l'objet d'études scientifiques poussées, malgré les nombreuses applications qui nécessitent une production, ou au contraire une absence, de bulles. Une équipe de chercheurs du département Matière molle de l'Institut de physique de Rennes (CNRS/Université Rennes 1) s'est penchée sur la question et a développé en laboratoire une machine à bulles auto-entretenue. Les chercheurs sont ainsi parvenus à déterminer la vitesse minimale à laquelle il convient de souffler sur un film de savon pour former des bulles, dans différentes conditions expérimentales. Ces travaux, qui permettraient d'optimiser divers procédés industriels, sont publiés le 19 février 2016 dans la revue *Physical Review Letters*. [...]

Institut de physique de Rennes

contact chercheur : Laurent Courbin, laurent.courbin@univ-rennes1.fr



(a) Evolution typique de la cavité créée dans un film lorsque la vitesse du gaz v_g croît et est inférieure à la valeur minimale de création de bulles v_c . (b) Des bulles se forment lorsque v_g est plus grande que v_c . © L. Salkin et al., *Phys. Rev. Lett.* (2016). Institut de physique de Rennes (CNRS/Université Rennes 1)

Mieux maîtriser la turbulence : première observation d'événements singuliers de dissipation de l'énergie

août 2016

Des chercheurs du CEA et du CNRS ont développé une nouvelle approche expérimentale qui permet d'étudier la dissipation d'énergie au sein des mouvements turbulents dans un liquide visqueux. Dans leur expérience, décrite dans *Nature Communications* le 31 août, l'équipe scientifique montre la présence, à petite échelle, de plusieurs types d'événements rares, mais intenses, de dissipation d'énergie par un processus indépendant de la viscosité. [...]

Service de physique de l'état condensé

contact chercheuse : Bérengère Dubrulle, berengere.dubrulle@cea.fr



Dispositif expérimental : 2 caméras placées orthogonalement permettent de suivre les mouvements des particules dispersées dans le fluide placé dans le récipient éclairé. 2 turbines contrarotatives (haut et bas) mettent le fluide en mouvement. L'ensemble est convenablement thermostaté. © Luc Barbier - CEA

ACTUALITÉS INTERFACE

Physique-Chimie : Micro-supercondensateurs : un procédé de fabrication compatible avec l'industrie, adaptable aux supports flexibles - janvier 2016

Les micro-supercondensateurs stockent l'énergie électrique et présentent des puissances et durées de vie plus élevées que les micro-batteries. Si de nombreux prototypes sortent des laboratoires, les procédés de fabrication ne sont pas forcément compatibles avec ceux de l'industrie. Dans le cadre du Réseau sur le stockage électrochimique du CNRS (RS2E), plusieurs équipes¹ autour des chercheurs du Cirimat (CNRS/Université Toulouse III - Paul Sabatier/INP Toulouse) ont développé un procédé de fabrication de micro-supercondensateurs adapté aux standards industriels. Ces dispositifs miniatures de stockage, décrits dans la revue *Science*, ont à ce jour le meilleur rapport énergie/puissance² de la littérature et se présentent sous forme de films déposables tant sur puce de silicium que sur support flexible. [...]

Laboratoire de physique et chimie de nano-objets

Physique-Chimie : De nouvelles nanoparticules magnétiques d'oxyde de fer pour l'imagerie, la vectorisation ou le stockage d'information février 2016

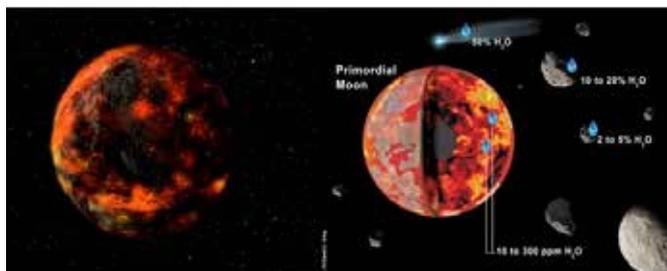
Les nano-aimants intéressent tout particulièrement les chercheurs en nano-médecine car ils sont facilement manipulables par simple application d'un champ magnétique. L'oxyde de fer, peu coûteux et facile à synthétiser, est un aimant particulièrement attrayant. Malheureusement, il perd son efficacité quand il est sous forme de nanoparticules : sa propriété d'aimant n'apparaît qu'à des températures très largement inférieures à la température ambiante. En greffant des complexes de cobalt à leur surface, plusieurs équipes sont parvenues à augmenter la température efficace de ces nanoparticules. Ces travaux sont parus dans la revue *Nature Communications*. [...]

Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie, Synchrotron Soleil

Physique-Terre Solide : Une distribution inattendue des isotopes de l'oxygène dans le système solaire jeune - avril 2016

Par l'analyse de la composition isotopique de l'oxygène contenu dans des inclusions réfractaires riches en calcium et aluminium de météorites primitives, Jérôme Aléon de l'Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie (CNRS, UPMC, IRD, MNHN, Sorbonne Universités) montre que, contrairement au modèle en vigueur, le disque protoplanétaire avait initialement la composition isotopique du Soleil et que le réservoir d'oxygène planétaire était probablement localisé en surface du disque plutôt que vers l'extérieur. Ces travaux sont publiés dans la revue *Earth and Planetary Science Letters* du 15 avril 2016. [...]

Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie



© L.P/David A. King / NASA/GSFC

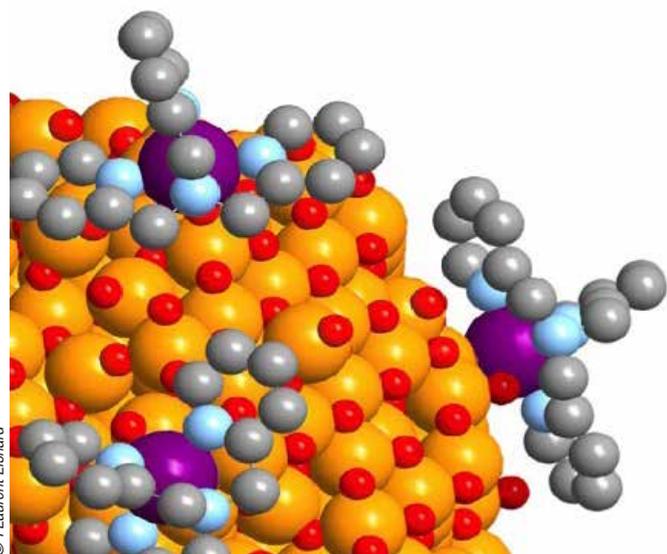
Physique-Chimie : Cartographier la dégradation des parchemins à l'échelle microscopique sans contact ni prélèvement mai 2016

Une cartographie de l'état de dégradation de parchemins historiques vient d'être réalisée pour la première fois grâce à une technique de microscopie optique, précédemment optimisée pour l'imagerie du collagène dans les tissus biologiques. Ce travail a été effectué par des physiciens et chimistes de l'Université Paris-Sud, du CNRS, du Ministère de la culture et de la communication, de l'École polytechnique et de l'Université Pierre et Marie Curie. L'invasivité minimale et la rapidité de cette méthode permettent d'envisager le diagnostic sans contact ni prélèvement de grandes collections ainsi que le suivi régulier d'œuvres fragiles. Ces résultats obtenus sur des parchemins historiques dans le cadre d'une collaboration pluridisciplinaire sont publiés dans la revue *Scientific Reports* du 19 mai 2016. [...]

Laboratoire d'optique et biosciences

Physique-Terre Solide : L'eau lunaire apportée par des astéroïdes, et non pas des comètes - juin 2016

La présence d'eau est vitale pour le développement de la vie telle que nous la connaissons et de nombreuses zones d'ombre subsistent quant à l'origine de l'eau sur Terre. Notre voisine la Lune constitue un témoin et une archive géante ayant préservé un enregistrement complet de l'histoire du bombardement du système Terre-Lune depuis sa formation. Cet enregistrement a été largement effacé sur Terre du fait de la tectonique des plaques notamment. En compilant et analysant les données existantes sur la nature de l'eau dans différents



© I. Laurent-Lisnard



Institut de physique

Actualités interfaces

objets du Système Solaire, une équipe internationale comprenant des chercheurs de l'Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie (UPMC, CNRS, IRD, MNHN) montre que la plupart de l'eau interne lunaire a probablement été apportée par des corps astéroïdaux riches en eau, plutôt que par des comètes, durant le bombardement qui a accompagné l'évolution géologique précoce de la Lune. Cette étude est publiée dans *Nature Communications*. [...]

Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie

Physique-Chimie : Des gels supramoléculaires multifonctionnels juin 2016

Les nouveaux matériaux dits « intelligents » sont des matériaux multifonctionnels capables de se transformer sous l'effet d'excitations et de s'adapter à leur environnement. Leur préparation reste un défi, relevé par des chimistes de l'Institut de sciences et d'ingénierie supramoléculaires (CNRS/Université de Strasbourg) et des physiciens de l'Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg (CNRS/Université de Strasbourg). Ils viennent de synthétiser un gel supramoléculaire photoluminescent, en mesure de s'auto-réparer et capable de libérer son solvant par simple contraction. Ces travaux sont parus dans la revue *Angew. Chem. Int. Ed.* [...]

Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg

Physique-Chimie : Un système magnétique où ordre et désordre se superposent - juin 2016

Des physiciens ont pour la première fois réalisé un système magnétique où l'ordre et le désordre sont superposés au point que chaque aimant élémentaire se trouve à la fois dans la phase ordonnée et dans la phase désordonnée. [...]

Institut Néel

Physique-Terre Solide : Du fer comprimé par laser pour comprendre le champ magnétique des planètes juin 2016

Le champ magnétique des planètes telluriques dépend des propriétés à haute pression et température des matériaux qui composent leur noyau. Le comportement du fer, qui compose majoritairement le noyau de la Terre, est largement étudié par différentes techniques. Pour s'approcher encore plus près des conditions réelles de pression et de température extrêmes, une équipe¹ de chercheurs français, japonais et britanniques a proposé une nouvelle approche expérimentale couplant diffraction X et compression par onde de choc créée à l'aide d'un laser de puissance. Les principaux laboratoires français impliqués sont le Laboratoire pour l'utilisation des lasers intenses (LULI, CEA/CNRS/X/UPMC) et l'Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie (IMPIC, CNRS/IRD/MNHN/UPMC). Ces travaux sont publiés dans la revue *PNAS* (Proceedings of the National Academy of Sciences). [...]

Laboratoire pour l'utilisation des lasers intenses, Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie



© Norimasa Ozaki / Osaka University

Physique-Sciences sociales : Comprendre et résoudre l'évolution de modèles en sciences sociales grâce à une équivalence avec des systèmes physiques - juin 2016

Des physiciens viennent de trouver un lien formel profond entre une classe d'équations utilisées en sciences sociales, les jeux à champ moyen quadratiques et une équation omniprésente en physique, l'équation de Schrödinger non linéaire. En transférant les méthodes et solutions de cette équation étudiée depuis près de cent ans en physique, ils apportent de nouveaux outils conceptuels permettant de dépasser les approches actuelles reposant sur la simulation numérique. [...]

Laboratoire de physique théorique et modèles statistiques, Laboratoire de physique théorique et modélisation

Physique-Biologie : Division cellulaire : l'union des moteurs moléculaires fait la force ! - juillet 2016

En utilisant une méthode originale de culture individuelle de cellules et la modélisation, l'équipe de Daniel Riveline à l'Institut de génétique et de biologie moléculaire et cellulaire et à l'Institut de Science et d'Ingénierie Supramoléculaire, en collaboration avec l'équipe de Karsten Kruse à l'Université Saarland (Allemagne), révèle les dynamiques collectives distinctes des filaments d'actine et des moteurs myosine dans le mécanisme de séparation des cellules de levures et de mammifères. Ces résultats sont publiés dans la revue *Nature Communications*. [...]

Institut de Génétique et de Biologie Moléculaire et Cellulaire

Physique-Ingénierie : Un record mondial pour la capture de photons dans des microrésonateurs - juillet 2016

Qui peut espérer arrêter la lumière et ses 300 000 000 mètres par seconde ? De nombreux chercheurs travaillent pourtant au stockage des photons. Des chercheurs du laboratoire FOTON, de l'IRCP et du C2N ont ainsi établi un nouveau record pour la durée de capture de photons dans un microrésonateur. Ces travaux ont été publiés dans la revue *Physical Review Letters*. [...]

Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies



Institut de physique

Actualités interfaces

Physique-Biologie : Fécondation : une rencontre mouvementée pour une histoire fusionnelle dans un micro-coquetier septembre 2016

Contrairement à ce qu'on pensait du battement du flagelle, celui-ci ne sert pas seulement à amener le spermatozoïde jusqu'à l'ovocyte, il permet aussi de déclencher la fécondation après l'entrée en contact des gamètes, et encore... seulement s'il bat à la bonne cadence. En invitant le spermatozoïde à rencontrer l'ovocyte dans un micro-coquetier, l'équipe de Christine Gourier au Laboratoire de physique statistique établit le déroulement des événements : durée de battements du flagelle, fusion des membranes, plongeon dans l'ovocyte et débobinage de l'ADN. Cette étude est publiée dans la revue *Scientific Reports*. [...]
[Laboratoire de physique statistique](#)

Physique-Biologie : Prédire quelles protéines interagissent à partir de leurs séquences - octobre 2016

Comprendre les interactions entre protéines est une clé pour déchiffrer le fonctionnement cellulaire. Des biophysiciens du laboratoire Jean Perrin et des Universités de Princeton et de Cambridge, ont élaboré un algorithme pour déterminer quelles protéines interagissent entre elles à partir de leurs seules séquences d'acides aminés, c'est-à-dire de leur composition chimique. Cette étude, publiée dans la revue *PNAS*, rend possible la prédiction d'interactions encore inconnues entre protéines.
[Laboratoire Jean Perrin](#)

Physique-Ingénierie : Cascade de gouttelettes dans un mélange de verres en fusion - novembre 2016

Des chercheurs du CNRS, de l'ESPCI Paris et de Saint-Gobain ont utilisé l'imagerie 3D par micro-tomographie X pour suivre l'évolution d'un mélange de verres fondus à haute température. Ils ont ainsi mis en lumière un mécanisme original de fragmentation des liquides, qui pourrait s'appliquer à la texturation des verres à petite échelle. Leurs résultats ont été publiés dans *Physical Review Letters*. [...]
[Surface du verre et interfaces](#)

Physique-Biologie : Des nanodiamants fluorescents révèlent des anomalies de transport moléculaire dans les neurones novembre 2016

Dans quelle mesure certaines maladies présentent-elles des anomalies du transport des molécules à l'intérieur des neurones ? Des chercheurs du Laboratoire Aimé Cotton (CNRS/Université Paris-Sud/ENS Paris-Saclay) et du Centre de psychiatrie et neurosciences (Inserm/Université Paris Descartes) ont mis au point une méthode pour mesurer précisément ce transport moléculaire grâce à des nanocristaux de diamants fluorescents. Ils ont ensuite appliqué cette méthode à des neurones de souris, soit génétiquement modifiées afin de reproduire un facteur de risque trouvé chez des personnes autistes, soit incubées avec un peptide impliqué dans la maladie d'Alzheimer. Ces expériences ont mis en évidence que le transport moléculaire était

alors anormal. Ces travaux ouvrent la voie au développement de cribles pour identifier les multiples facteurs de risques génétiques des maladies neuropsychiatriques et neurodégénératives. [...]

[Laboratoire Aimé Cotton](#)

Physique-Ingénierie : Un algorithme évolutionniste pour des nanostructures photoniques complexes - novembre 2016

Darwin au secours des nanotechnologies ? Des chercheurs du CEMES et du LAAS-CNRS ont développé des nanostructures photoniques complexes grâce à une méthode évolutionniste. Leur procédé inspiré de la sélection naturelle permet d'optimiser simultanément plusieurs propriétés optiques de nanoantennes. Ces travaux ont été publiés dans *Nature Nanotechnology*. [...]

[Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales](#)

Physique-Terre Solide : Géométrie et isotopie du bore dans les carbonates de calcium : une mémoire pas si directe du pH des océans anciens - novembre 2016

Une équipe pluridisciplinaire comprenant des minéralogistes et physiciens de l'Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie (IMPMC/ECCE Terra, CNRS/UPMC/IRD/MNHN), des chimistes du Laboratoire de chimie de la matière condensée de Paris (LCMCP, UPMC/CNRS/Collège de France) et des géochimistes de l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP, IPGP/CNRS/UPD/Université La Réunion) et du laboratoire Géosciences environnement Toulouse (GET/OMP, Université Paul Sabatier/IRD/CNRS/CNES) vient de décrire pour la première fois l'environnement du bore à l'échelle atomique dans les principaux carbonates de calcium naturels.

Cette avancée vers une meilleure compréhension de l'incorporation des borates dans ces minéraux ouvre de nouvelles perspectives de reconstitution des variations d'acidité des océans anciens. [...]

[Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie](#)

Physique-Chimie : L'Eau de Graphène, une exfoliation inégalee - décembre 2016

Matériau le plus mince au monde aux propriétés électriques, thermiques, mécaniques inégales, le graphène, couche élémentaire du graphite, est toujours sujet à une veille scientifique et technologique active. D'autant que des verrous restent à lever, comme obtenir cette couche unique d'atomes de carbone sans que celle-ci ne perde ses propriétés. De même qu'empêcher qu'elle ne s'agrège à nouveau à d'autres couches jumelles. Mais en utilisant de l'eau dégazée, les chercheurs du Centre de recherche Paul Pascal (CNRS/Université de Bordeaux) et du Laboratoire Charles Coulomb (CNRS/Université de Montpellier) sont parvenus à une dispersion de graphène sous forme aqueuse, stable à l'air et facilement manipulable. Cette formulation est une première ! Elle fait l'objet d'un brevet et d'une publication dans la revue *Nature Chemistry*. [...]

[Laboratoire Charles Coulomb](#)

Direction de la publication

Alain Schuhl

Conception

**Marie Signoret
Marine Charlet-Lambert
Jean-Michel Courty**

Adaptation graphique et mise en page

Marine Charlet-Lambert

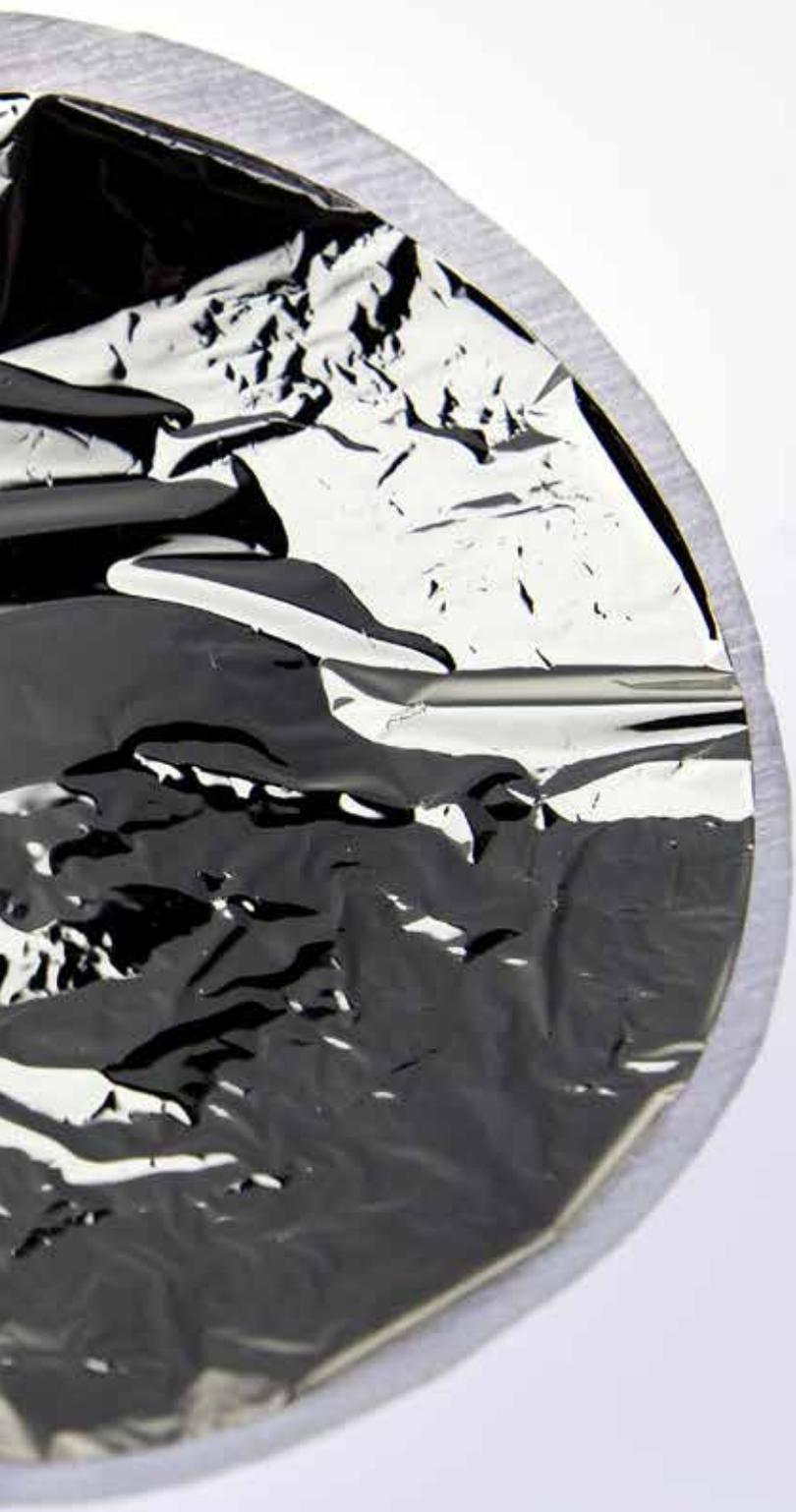
Contact

inp.com@cnrs.fr

Imprimeur

Bialec, n° 90720

Mars 2017



CNRS
Institut de physique
3, rue Michel-Ange
75794 Paris Cedex 16
T 01 44 96 42 53
www.cnrs.fr/inp